

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання


Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: Оптимізація конструкції ТП М
за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті
зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

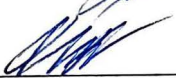
Виконав: студент групи ЕЕ2221:


/ Євген КОЗАЧЕНКО /

Керівник:


/ доцент Тетяна ДРУБЕЦЬКА /

Нормоконтролер:


/ доцент Ірина ПОТАПЧУК /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Energy and economic process management

Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: Optimization of the design of traction substation M

according to educational curriculum Energy and electromechanical systems in transport

in the Speciality: 141 Power engineering, electrical engineering and
electromechanics

Done by the student of the group EE2221: / Kozachenko Yevhen /

Scientific Supervisor: / Ass. Prof. Tetiana Drubetska /


Normative controller : / Ass. Prof. Iryna Potapchuk /

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ
 Дмитро БОСІЙ

Дата 18.01.23

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

студенту Козаченку Євгену Миколайовичу

1. Тема роботи: Оптимізація конструкції ТП М

Керівник роботи: Друбецька Тетяна Ігорівна, к.т.н., доцент

затверджені наказом від

" 18 " 01 2023 р. № 56ст

2. Строк подання студентом роботи: 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

план об'єкту А.

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

4.1 Описання існуючої однолінійної схеми.

4.2 Переваги сучасного обладнання.

4.3 Оптимізація однолінійної схеми ТП М.

4.4 Обґрунтування прийнятих рішень

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Однолінійна схема підстанції 2. Сучасні швидкодіючі вимикачі 3. Технічні характеристики вимикачів 4. Приклади побудови РП на сучасній елементній базі.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Описання існуючої однолінійної схеми	09.10.2023	
2	Переваги сучасного обладнання	06.11.2023	
3	Оптимізація однолінійної схеми ТП М	04.12.2023	
4	Обґрунтування прийнятих рішень	18.12.2023	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	08.01.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	16.01.2024	

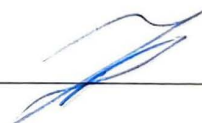
Студент

Євген КОЗАЧЕНКО



Керівник роботи

Тетяна ДРУБЕЦЬКА



РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 56 сторінок, 4 частини, 18 рисунків, 4 таблиці, 14 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – вимикачі підстанцій.

Мета роботи – оптимізація конструкції розподільчих пристроїв тягової підстанції

Методи дослідження. Основні теоретичні положення магістерської роботи отримані за допомогою математичного апарату теорії надійності.

Одержані результати:

- описана існуюча однолінійна схема;
- проаналізовані переваги сучасного обладнання;
- проведено оптимізацію однолінійної схеми підстанції;
- обґрунтовані прийняті рішення.


Ключові слова: ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ; ВІДДІЛЬНИК, КОРОТКОЗАМИКАЧ, ЕЛЕГАЗОВИЙ ВИМИКАЧ, ШВИДКОДЮЧИЙ ВИМИКАЧ, НАДІЙНІСТЬ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОПИСАННЯ ІСНУЮЧОЇ ОДНОЛІНІЙНОЇ СХЕМИ	8
2 ПЕРЕВАГИ СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ	10
3 ОПТИМІЗАЦІЯ ОДНОЛІНІЙНОЇ СХЕМИ ТП М	26
3.1 Постановка задачі	26
3.2. Вибір та обґрунтування обладнання	30
4 ОБґРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	34
4.1 Показники надійності електроенергетичного обладнання	34
4.2. Оцінка ступеня зміни надійності підстанції від заміни обладнання в типових схемах.....	46
4.4 Розрахунок показників надійності схемних рішень розподільних пристроїв тягових підстанцій.....	47
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55

02.15.ЕЕ2221.КРМ.20223.ПЗ

Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата
-----	-----	-------------	--------	------

Розробник		Козаченко Є.М.		16.07.24
-----------	--	----------------	---	----------

Консульт				
----------	--	--	--	--

Оптимізація конструкції ТП М

Літера	Аркцш	Аркцшів
--------	-------	---------

М	6	56
---	---	----

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 57 сторінок, 4 частини, 19 рисунків, 4 таблиці, 15 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – вимикачі підстанцій.

Мета роботи – оптимізація конструкції розподільчих пристроїв тягової підстанції

Методи дослідження. Основні теоретичні положення магістерської роботи отримані за допомогою математичного апарату теорії надійності.

Одержані результати:

- описана існуюча однолінійна схема;
- проаналізовані переваги сучасного обладнання;
- проведено оптимізацію однолінійної схеми підстанції;
- обґрунтовані прийняті рішення.

Ключові слова: ТЯГОВА ПІДСТАНЦЯ; ВІДДІЛЬНИК, КОРОТКОЗАМИКАЧ, ЕЛЕГАЗОВИЙ ВИМИКАЧ, ШВИДКОДІЮЧИЙ ВИМИКАЧ, НАДІЙНІСТЬ

ВСТУП

Від електроенергії залежать всі сфери діяльності людини. Потрібно забезпечити якісну і безперебійну подачу електроенергії. Для цього будуються нові об'єкти і реконструюються старі. Також в даний момент ведуться роботи по забезпеченню надійності системи енергопостачання зокрема підстанцій тому величезну роль в системах електропостачання грають тягові підстанції. Вони є важливою ланкою в системі електропостачання. Сучасні підстанції мають велике число приєднань до ліній електропередачі різної напруги, до різних трансформаторів і інших електричних приладів, що значно ускладнює головну електричну схему підстанції.

Від якісного та безперебійного постачання електроенергії нерідко залежить людське життя. Наші потреби повністю залежать від електрики. Забезпечення надійності постачання електроенергією особливо важлива частина для функціонування сучасної нормальної діяльності людства.

Сучасний рівень розвитку електрифікації вимагає від постачальників безперебійного та якісного електропостачання. Електрична енергія являється найбільш зручним і дешевим видом енергії. Широке поширення електричної енергії обумовлено відносною легкістю її отримання, перетворення і можливістю її передачі на великі відстані.

В даний час більшість електрообладнання знаходиться на грані свого зносу, і вимагає заміни або модернізації. Також гостро стоїть питання про моральне і фізичне старіння обладнання. Вже давно постала необхідність заміни застарілого обладнання на новіші, економічні, більш надійні установки.

Тому задача оптимізації конструкції обладнання тягової підстанції стає досить актуальною.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	7

1 ОПИСАННЯ ІСНУЮЧОЇ ОДНОЛІНІЙНОЇ СХЕМИ

В адміністративному відношенні об'єкт проектування знаходиться в Дніпропетровській області, Павлоградському районі, с. Мінеральні Води, вул. Заводська, 8. У фізико-географічному відношенні територія, на якій розташовано об'єкт проектування знаходиться в степовій зоні, в північно-степовій підзоні і відноситься, до Орільсько Самарської низовинної області. Підстанція Мінеральна Тягова-150/35/10 кВ розташована у вузькій смужі між залізничними коліями залізничної станції «Мінеральна» та Донецьким шосе і межує: – з півночі - з коліями залізничної станції «Мінеральна» і далі заводом з виробництва мінеральних вод; – зі сходу - з з/д господарством станції «Мінеральна»; – з півдня - з сільськогосподарськими угіддями і далі з Донецьким шосе; – із заходу - з сільськогосподарськими угіддями (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема розташування підстанції Мінеральна

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ				8

Тягова підстанція введена в експлуатацію в 1968 році. На даний час встановлено один силовий трансформатор типу ТДГТ-15000 150/38,5/11. До складу ПС «Мінеральна» входять (рис. 1.2):

- ВРП-150 кВ;
- ВРП-35 кВ;
- ЗРП-10 кВ;
- ЗРП-3,3 кВ;
- КРУН СЦБ.

Існуюча схема нормального режиму підстанції доповнюється трансформатором напруги 150 кВ та роз'єднувачами 150 кВ і обмежувачами напруг 150 кВ в колах ТН, елегазовим вимикачем на лінії Л-82 та комплектами трансформаторів струму 150 кВ і роз'єднувачами 150 кВ.

У схемі на сьогоднішній день є ряд недоліків. Наприклад на вводі замість вимикача стоїть короткозамикач з віддільником; в РП 3,3 кВ встановлені застарілі вимикачі АБ 2/4. В магістерській роботі буде проведена оптимізація однолінійної схеми та запропоновані відповідні зміни.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2221.КРМ.20223.ПЗ				9

02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ

ЕЧЕ-44
т/п Мінеральна

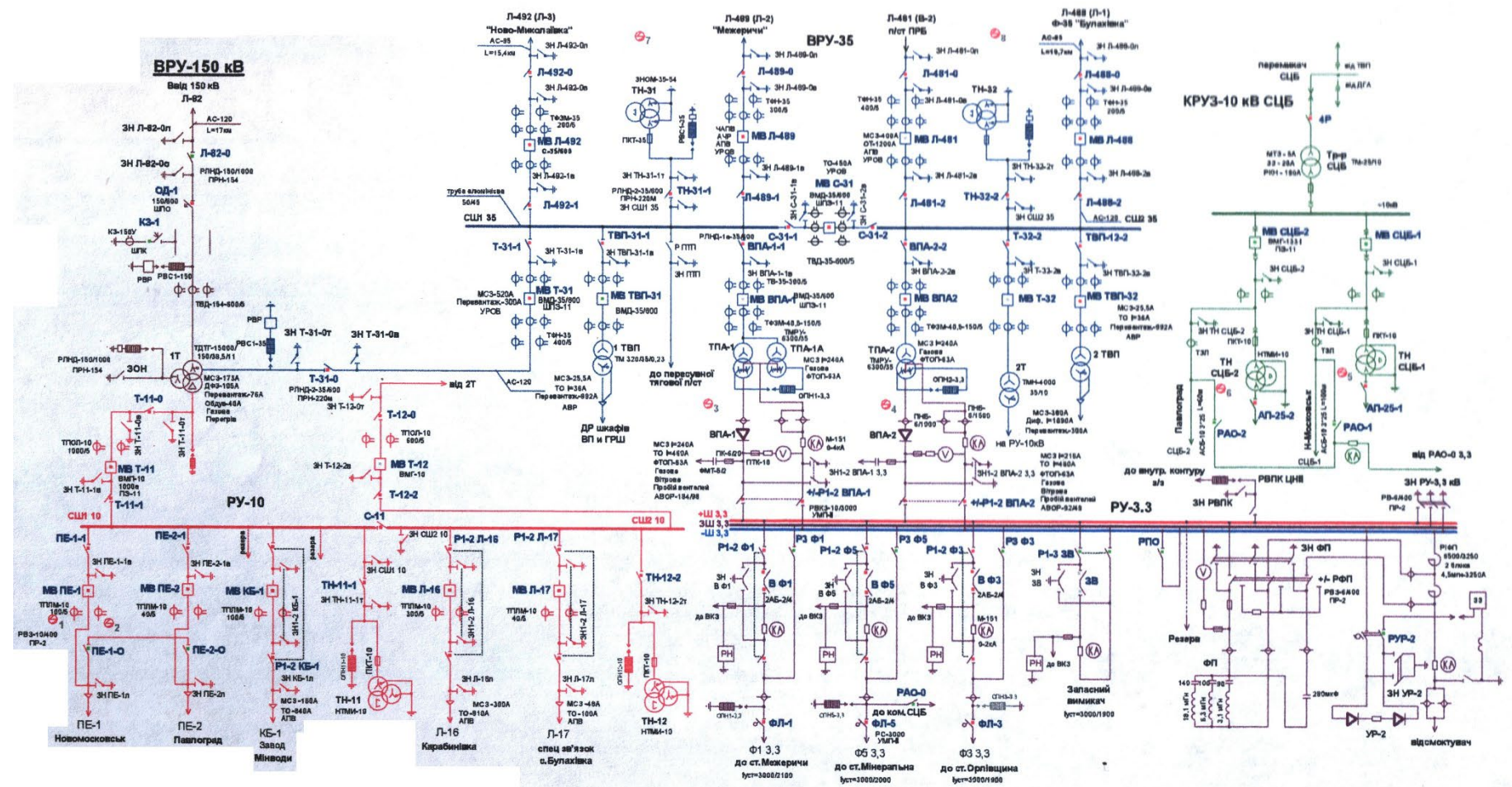


Рисунок 1.2 – Однолінійна схема тягової підстанції М

2 ПЕРЕВАГИ СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ

На залізницях України з 307 стаціонарних та пересувних тягових підстанцій з терміном служби понад 30 років працюють 243 стаціонарних (82,09% від загальної кількості) та 10 пересувних тягових підстанцій (табл. 2.1). В експлуатації знаходиться 9 підстанцій з одним вводом живлення, що не відповідає вимогам Правил улаштування системи тягового електропостачання залізниць України.

Таблиця 2.1 – Розподіл тягових підстанцій по терміну експлуатації

Тягові підстанції	Кількість	% терміну експлуатації		
		до 30 років	до 40 років	більше 40 років
Всього	307	18,1 % (54)	12,5 % (37)	70,4 % (216)
В тому числі:				
стаціонарні	294	17,5 % (51)	10,8 % (32)	71,7 % (211)
пересувні	13	23,2 % (3)	38,4 % (5)	38,4 % (5)

Кількість стаціонарних тягових підстанцій з напругою 220 кВ складає 1 підстанція, 154-110 кВ – 197 одиниць, 20-35 кВ – 80 одиниць, 16 тягових підстанцій постійного струму мають напругу 6-10 кВ.

За типом приєднання:

- опорних – 50 одиниць,
- транзитних – 168 одиниць;
- тупикових – 50 одиниць;
- на відпайках – 26 одиниць.

Один з напрямів удосконалення господарства електропостачання – тягові підстанції нового покоління для живлення різних систем електричної тяги. На сьогоднішній день розроблені та продовжують вдосконалюватися нові концепції спорудження і монтажу тягових підстанцій.

Існуючі на даний момент технології припускали наступний цикл спорудження тягових підстанцій: відвід території під відкритою та закритою частини підстанції, будівництво капітальної будівлі закритої частини підстанції з прокладкою всіх необхідних комунікацій для теплопостачання та водопостачання, а також водовідводу, поставку з різних країн електрообладнання для відкритої та закритої

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ					11

частини, монтаж електрообладнання на об'єкті, наладку та приймально-здавальні випробування, здачу об'єкта в експлуатацію.

Така технологія мала наступні недоліки [3]:

1. Складний технологічний процес взаємодії підприємств-виробників.
2. Значні площі, що займало електрообладнання.
3. Великі строки вводу в експлуатацію (від 8 місяців до року).
4. Низька експлуатаційна надійність.
5. Великі капітальні та експлуатаційні витрати.

На сьогоднішній день в будівництві тягових підстанцій застосовується комплектно-блочна технологія, яка дозволяє в значній степені подолати існуючі проблеми. Сутність такої технології полягає в тому, що на одному підприємстві здійснюється дослідження та конструювання, проектування, виробництво, монтаж, наладка, сервісне та гарантійне обслуговування. В основу комплектно-блочної технології покладена концепція створення не обслуговуваної підстанції без постійного експлуатаційного персоналу, яка базується на наступних принципах:

- використання при спорудженні нових і реконструкції діючих підстанцій високонадійного обладнання, що не потребує постійної присутності чергового персоналу та технічне обслуговування якого мінімальне;
- застосування засобів автоматизації та функціональної діагностики всього обладнання підстанції, що дозволяє перейти від обслуговування «по регламенту» до обслуговування «за потребою» (за фактичним станом).

При будівництві підстанції необхідно забезпечити:

- значне підвищення техніко-експлуатаційних, енергетичних та економічних показників роботи підстанції;
- мінімізацію затрат на спорудження (реконструкцію) будівлі підстанції;
- врахування реальних рівнів завантаження ділянок залізниці;
- забезпечення вимог екологічності та електромагнітної сумісності;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				12

- електробезпека.

Результатом реалізації такого підходу являється не просто розробка нового комплексу обладнання для підстанції, але і впровадження нових технологій електрифікації та реконструкції, що охоплюють всі етапи:

- автоматизоване проектування системи тягового електропостачання для конкретної ділянки;

- виготовлення та наладка обладнання в умовах сучасного виробництва, монтаж на місці експлуатації та мінімізація технічного обслуговування при експлуатації.

Для реалізації перерахованих цілей необхідно вирішити наступні основні технічні задачі:

1. Впровадження обладнання, що не потребує постійної присутності чергового персоналу та дає можливість зосередити обслуговування кваліфікованим персоналом, оперативне управління в центрах (залізничних вузлах та великих населених пунктах) з розвиненою інфраструктурою.

2. Спрощення схем головних електричних з'єднань підстанції, що визначають кількість обладнання, режим його роботи та основні енергетичні показники.

3. Визначення переліку основних силових компонентів та їх конструктивного виконання, що дозволить знизити витрати, забезпечити високі гарантійні строки та мінімізувати або виключити технічне обслуговування.

4. Розробка схем вторинних кіл на основі мікропроцесорних фідерних терміналів, що виконують всі функції на даному приєднанні, включаючи діагностику стану силового обладнання та самодіагностику.

5. Організація високонадійної системи управління підстанцією, що забезпечує роботу без постійного чергового персоналу, доступність та достовірність інформації про технічний стан обладнання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	13

6. Визначення оптимальної технології проведення всіх робіт при умові забезпечення безперебійного електропостачання.

Вирішення поставлених вище задач дозволить:

- знизити втрати електроенергії в системі тягового електропостачання та підвищити енергетичні показники системи;
- скоротити витрати на технічне обслуговування за рахунок оптимізації трудових, енергетичних та матеріальних ресурсів;
- підвищити надійність функціонування всього обладнання і безпеку персоналу.

Світовий досвід показує, що складовими реалізації малолюдної технології являються:

1. Впровадження систем тягового електропостачання, що забезпечує мінімальну кількість опорних підстанцій з прив'язкою їх до об'єктів інших служб або великих населених пунктів. На лінії повинні залишитись максимально спрощені електроустановки, що не потребують технічного обслуговування.

2. Використання високонадійного електрообладнання, що не потребує планово-попереджувального ремонту протягом встановленого строку служби або постійної присутності чергового персоналу.

3. Максимальна автоматизація процедур обслуговування, яка досягається шляхом створення автоматизованих систем управління технологічними процесами.

4. Високоєфективна інфраструктура експлуатації та технічного обслуговування підстанцій.

Сьогодні, завдяки росту надійності окремих компонентів електрообладнання та появі сучасних матеріалів, це стає можливим практично.

Застосування повторюваних уніфікованих рішень для будівництва окремих підсистем тягових підстанцій стало можливим в результаті мінімізації габаритів, стандартизації окремих складових.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	14

Раніше підстанції споруджувалися на основі використання обладнання, досить різноманітного за ступеню функціональної завершеності, а також за своїми конструктивними, технологічними, експлуатаційними та іншими параметрами. Це створювало багато проблем при проектуванні та комплектуванні підстанцій, при стикуванні різноманітного обладнання на місці експлуатації, при технічному обслуговуванні, ремонті та модернізації та слугувало непрямою причиною травматизму.

Кардинальне рішення цих проблем може бути досягнуто тільки на основі створення комплекту укрупнених функціональних блоків повної заводської готовності (рис. 2.1), [1] що дозволить шляхом агрегування відповідних різновидів блоків реалізувати всі необхідні типи підстанцій і в той же час врахувати особливості конкретних умов в кожному окремому випадку.

а)



б)



а – компоновка комплектно-блочного обладнання в будівлі підстанції; б – тягова підстанція контейнерного типу

Рисунок 2.1 – Комплектування сучасних тягових підстанцій

В основі вимог до таких блоків повинна бути безпека їх обслуговування.

Комплект функціональних блоків для модернізації та реконструкції підстанцій повинен, крім того, відповідати наступним вимогам:

- функціональні блоки повинні поставлятися на монтажну площадку підстанції в повністю змонтованому вигляді, агрегування повинно зводитися до монтажу зовнішніх ошиновок, елементи яких також повинні поставлятися в готовому вигляді;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ				15

- функціональні блоки можуть встановлюватися як в окремих контейнерах, так і в капітальних або швидко споруджуваних будівлях.

Сьогодні все частіше використовують комплектні розподільні пристрої з елегазовою ізоляцією (КРПЕ).

Комплектний розподільний пристрій типу КРПЕ внутрішньої установки (рис. 2.2) має низку переваг порівняно з традиційними розподільними пристроями з повітряною ізоляцією зовнішньої установки, а саме:

- компактність, невеликі габаритні розміри.
- кабельні підключення за допомогою кабельних адаптерів до осередків КРПЕ забезпечують плавний перехід від кабелю в РП і відсутність оголених струмоведучих частин в місцях високовольтних підключень.
- незалежність від зовнішнього середовища, відсутність технічного обслуговування і підвищена ступінь безпеки персоналу. Всі струмопровідні частини осередків КРПЕ захищені елегазовим середовищем, повністю виключена можливість торкнутися струмоведучих частин комірок, безпека робіт при комутаціях забезпечується вбудованими системами механічних і електромагнітних блокувань. Повна ізоляція струмоведучих шин в елегазовому середовищі і застосування спеціальних контактних шайб виключає необхідність в періодичних перевірках і протяганнях з'єднань.

Великий досвід експлуатації аналогічного обладнання по всьому світу в різних кліматичних зонах більш ніж 20 років показує високу надійність електропостачання, поліпшення умов і безпеки обслуговування, скорочення обсягу робіт з технічного обслуговування, зниження експлуатаційних витрат на обслуговування і ремонт.

Термостатичні закриті контейнери (модулі) для установки електротехнічного обладнання відповідають сучасним тенденціям і дозволяють постачати обладнання на об'єкт в повній заводській готовності.

Високовольтний пристрій розміщено з коридором обслуговування, в якому розміщуються рукоятки управління роз'єднувачами, шафи управління і захисту приєднань розподільного пристрою.

а)

б)

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	16



В)



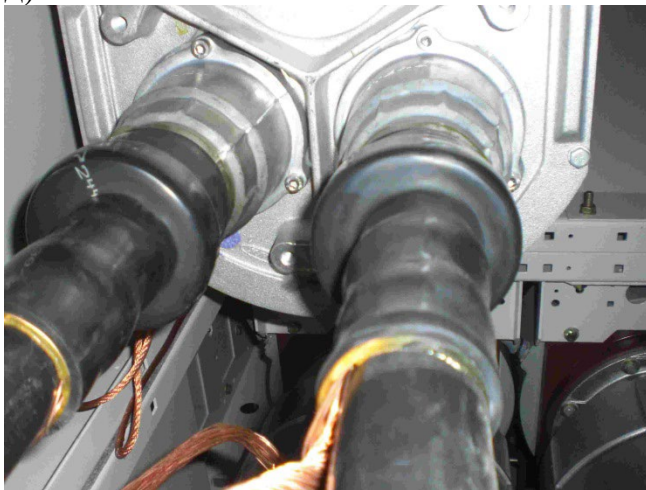
Г)



Д)



Е)



а, б – шини; в, г – модулі; д, е - кабельні підключення

Рисунок 2.2 – Комплектний розподільний пристрій з елегазовою ізоляцією

Модулі включають всі системи захисту, автоматики та управління.

У практиці проектування при розробці проектів нових та модернізації старих тягових підстанцій застосовується тільки сучасне устаткування. На сьогодні існує

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ				17

різноманітний вибір обладнання розподільчих пристроїв тягових підстанцій, які постачаються як заводами України, так і заводами іноземних фірм. Обладнання поставляється повністю укомплектованим, відрегульованим, випробуваним в заводських умовах і має максимальну готовність до монтажу. Коротко охарактеризуємо основних постачальників.

ВАТ Ровенського заводу високовольтної апаратури «РЗВА» - найбільше підприємство по виробництву високовольтної комутаційної апаратури від 6 до 110 кВ на Україні.

На основі сучасної технології з використанням комплектуючих виробів різних фірм ВАТ «РЗВА» виробляє високоякісні економічні в експлуатації апарати на напругу від 6 до 110 кВ.

Відкриті розподільчі пристрої (ВРП) 110, 35, 27,5 кВ «РЗВА» виконане з уніфікованих для всієї мережі схем транспортабельних блоків заводського виготовлення, що складаються з металевих опорних конструкцій, на яких змонтовані сучасні апарати високої напруги, елементи ошинування, а також елементи допоміжних кіл. Металоконструкція блоків забезпечує зручність обслуговування апаратів і дозволяє виконувати транспортування блоків пакетами. Блоки КРП(Б)З устанавлюються на залізобетонних лежнях або заглиблених фундаментах.

Для ВРП 110 або 35 кВ застосовується жорстка ошиновка труб алюмінієвого сплаву діаметром 60х3 або 80х3мм і гнучке ошинування із сталюалюмінієвого дроту марок АС-95/16, 120/19, 300/48 і т.д.

Конструкція вузлів кріплення жорстких шин забезпечує компенсацію температурних змін їх довжини, можливих неточностей в установці блоків, а також зсув блоків, що виникають унаслідок деформації ґрунту в процесі експлуатації.

Як комплектуюче обладнання застосовані:

- вимикачі елегазові ВГТ-110, ВБЗЕ-35, ВБЗО-27,5;
- трансформатори струму ТОГ-110, ТФЗМ-35;
- трансформатори напруги НОГ-110, ЗНОМ-35;

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2221.КРМ.20223.ПЗ				18

- обмежувачі перенапруги та розрядники ОПН-110, РВС-110, ОПН/TEL-35; РВС-35;
- роз'єднувачі РДЗ-110, РДЗ-35;
- запобіжники ПКН001-35.

Окрім блочного КРП(Б)3-35 кВ передбачено також комплектний розподільний пристрій з висувними елементами для зовнішнього устанавлення (КРПЗ 35), який представляє собою металеве приміщення з автоматичним включенням та відключенням обігріву, з набором сучасного електротехнічного обладнання, яке визначається функціональним призначенням КРПЗ. У якості високовольтного розподільного пристрою у КРПЗ 35 застосовуються шафи КРП серії КУ 35 з вакуумними вимикачами ВР35, трансформаторами струму ТЛК-35 та трансформаторами напруги ЗНОЛ-35. Розміщення шаф однорядне з одностороннім обслуговуванням. Вид основних шаф залежно від вбудовуваної апаратури. У якості понижуючих трансформаторів застосовуються сухі трифазні трансформатори з обмотками типу «Резиблок» з природним повітряним охолодженням, потужністю до 4000 кВА, на напругу 35 кВ виробництва «РЗВА». Як комплектує обладнання у шафах застосовуються:

- у комірках введів, понижуючих трансформаторів, секційного вимикача висувний елемент включає в себе: силові вакуумні вимикачі, трансформатори струму;
- у комірках трансформатора напруги – трансформатори напруги с обмежувачами;
- у комірці секційного роз'єднувача – сполучна шинна перемичка.

Кожна тягова підстанція постійного та змінного струмів містить РП-6(10) кВ для живлення залізничних та районних споживачів і РУ-6 (10) кВ ВЛ для живлення пристроїв СЦБ.

Для комплектації тягових підстанцій залізниць пропонуються наступні варіанти КРП -6 (10) кВ для устанавлювання в будівлях:

- вітчизняні РП – серії КУ-10 з вакуумними силовими вимикачами і КУ-10Ц з вакуумними або елегазовими вимикачами розробки та

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2221.КРМ.20223.ПЗ					19

виготовлення ВАТ Ровенського заводу високовольтної апаратури (РЗВА). Як комплектуюче обладнання у шафах застосовуються: вимикачі вакуумні ВР1, ВР2; трансформатори напруги ЗНОЛ-06, НОЛ-08, НАМИ; трансформатори струму ТЛК-10, ТВЛ; розрядники РВО; обмежувачі перенапруги ОПНС; трансформатори струму нульового захисту ТЗЛМ; запобіжники силові ПКНТ; запобіжники трансформаторів напруги ПКН.

- іноземні РП – серії NXAIR.

Підприємство «НИИЕФА» освоїло випуск електротехнічного устаткування для розподільних пристроїв низької і середньої напруги, устаткування тягових підстанцій змінного і постійного струму для залізниць.

КРП виготовляються одностороннього обслуговування в металевій оболонці, з повітряною ізоляцією, з силовими вакуумними вимикачами і відповідають найсучаснішим вимогам: забезпечують високу надійність, економічність при експлуатації, безпеку оперативного і обслуговуючого персоналу. Базовою конструктивною і функціональною одиницею КРП є шафа уніфікованого типорозміру, яка містить в собі всі необхідні компоненти силових і вторинних кіл.

Для реконструкції і будівництва нових підстанцій широке застосування одержали закриті розподільчі пристрої (ЗРП) 10, 27,5 кВ у модульному виконанні. Освоєння у виробництві термостатних закритих контейнерів (модулів) для установки електротехнічного обладнання відповідають сучасним тенденціям і дозволяють доставляти обладнання на об'єкт у повній заводській готовності. Конструкція модуля є жорстким каркасом з розмірами по каркасу – 7,2 (6; 4,80) x 3,3 x 3,2 (LxDxH) обшитим металевими листами з утепленням. Модуль укомплектований пристроями для освітлення, підігріву і вентиляції, що забезпечує необхідні умови для роботи встановленого устаткування.

Високовольтне устаткування розміщене у відсіках, з коридором обслуговування. У коридорі обслуговування знаходяться рукоятки керування роз'єднувачами, шафи керування та захисту приєднань розподільного пристрою.

Модулі виконують на основі сучасної силової бази та схемотехніки; вони включають всі системи захисту, автоматики, керування, діагностики.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ					20

Будівельні роботи при використуванні блочно-модульних конструкцій істотно простіше, ніж у разі традиційної технології. Опорами для установки модулів можуть служити відпрацьовані свій термін рейко-шпальні конструкції шляху на щебеневій підставі, які укладають в дві нитки паралельно під'їзному залізничному шляху підстанції. Монтаж устаткування на місці експлуатації виконується безпосередньо «з колії». Це найшвидша і дешевша технологія, оскільки функціональні блоки повинні бути повністю зібрані, налагоджені та випробувані на заводі.

Види основних модулів вибираються в залежності з умовним позначенням вбудованої апаратури та приєднань.

Для комплектування модулів РП-10 кВ та ВЛ СЦБ застосовуються комірки серії NXAIR, виготовлені за ліцензією SIEMENS.

Окрім розподільних пристроїв 27,5 кВ у блочному та модульному виконаннях, для комплектації тягових підстанцій залізниць запропоновано варіанти комплектних розподільних пристроїв (КРП) - 27,5 кВ з викатними елементами, з сучасною системою управління, автоматики і захисту для установлювання в будівлі:

Розподільний пристрій виробництва «НИИЭФА-ЭНЕРГО». Розподільний пристрій виробництва фірми SIEMENS. Комплектний розподільний пристрій (КРП) виробництва «НИИЭФА-ЭНЕРГО» - це КРП двохстороннього обслуговування шириною 1200 (1500) мм, глибиною 1500 мм з вакуумними силовими вимикачами. КРП є набором окремих комірок з комутаційними апаратами і іншою високовольною комплектуючою апаратурою, з приладами вимірювання, цифрового пристрою захисту і автоматики, блоками захисту і автоматики та керування, а також апаратурою управління, сигналізації і іншими допоміжними пристроями. Комірки з'єднують між собою. Збірні шини виконуються круглого перетину. Запасна шина з лінійним та запасним роз'єднувачами установлюється окремо на відкритій частині підстанції. З'єднання шаф КРП з роз'єднувачами запасної шини здійснюється за допомогою кабелів з

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				21

ізоляцією із зшитого поліетилену. Кількість кабелів від одного до трьох, у залежності від навантаження.

У комірках введення, запасного вимикача, фідерів контактної мережі та ДПР викатний елемент включає в себе: вакуумні силові вимикачі, трансформатори струму та обмежувачі. У комірках трансформатору напруги – трансформатори напруги з обмежувачами. У комірці секційного роз'єднувача – сполучна шинна перемичка.

У якості основної комплектуючої апаратури у шафах застосовуються:

- вимикачі вакуумні ЗАН47-27,5-25/1250У3;
- трансформатори напруги ТЈС727500V/100V, 75 VA кл.0,5 «АББ»;
- трансформатори струму 4МА76 100/5, 1000/5 0,5/10 р;
- обмежувачі перенапруги ОПН-П-27,5 кВ.

Фірма SIEMENS є одним з найбільших і сучасних концернів світу, що займає провідні позиції у області електротехніки і електроніки. Починаючи з 1997 г на українському ринку працює дочірнє підприємство «Сіменс Україна», українське підприємство з німецьким капіталом. Все електроустаткування, що поставляється, на класи напруги від 6 кВ до 750 кВ добре зарекомендовало себе в українських експлуатаційних умовах.

Комплектний розподільний пристрій (КРП) виготовлення фірми SIEMENS є газоізолюваною системою з вакуумним вимикачем, з робочою і запасною шинами, у яких є приєднання для тягових потреб, для власних потреб і для компенсації. Кожна з підстанцій має живлячі лінії контактної мережі в обидва напрямки. Кожна з цих ліній споживається від робочої шини і резервується від запасної. Збірні шини мають подвійне подовжнє секціонування, яке дозволяє здійснювати електропостачання в аварійних режимах. У разі потреби можливо від однієї тягової підстанції живити дві прилеглі ділянки.

Якісний стрибок по вдосконаленню апаратури РП – 3,3 кВ досягається при застосуванні нових швидкодіючих вимикачів на викатних елементах.

Комплектний розподільний пристрій внутрішньої установки «НИИЭФА-ЭНЕРГО» – це КРП одностороннього обслуговування шириною 800 мм глибиною

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ					22

1800 мм. Викатний елемент включає в себе швидкодіючий автоматичний вимикач. КРП є набором окремих комірок з комутаційними апаратами та іншою високовольтною комплектуючою апаратурою, з приладами вимірювання, блоками захисту і автоматики та керування, а також апаратурою управління, сигналізації і іншими допоміжними пристроями. Комірки з'єднують між собою «+» шиною, «-» шиною та запасною шиною. Види основних шаф в залежності з умовним позначенням вбудованої апаратури та приєднань.

Катодні вимикачі випрямних агрегатів, окрім функції комутаційного апарату у катодному колі, виконують функції запасних автоматів при вимкнених випрямних агрегатах.

У якості основної комплектуючої апаратури у шафах застосовуються вимикачі автоматичні швидкодіючі GERAPID4207 2x4 36/1 2 20 2003 ЗУХЛ4.

Швидкодіючі автоматичні вимикачі постійного струму GERAPID – це однополюсні автоматичні вимикачі, призначені для застосування на залізниці в розподільних системах тягового електропостачання на робочий струм до 8000 А і робочу напругу до 3600 В постійного струму. Вони компактні і мають закриту конструкцію. Всі деталі змонтовані на товстостінних вогнестійких ізоляційних панелях, їх масивні покриття захищають механізми вимикача від пошкоджень.

Швидкодіючі автоматичні вимикачі володіють високою виникаючою здатністю в поєднанні з граничними характеристиками по струму.

Включення автоматичного вимикача відбувається за допомогою вмикаючого магніту високої потужності. При проведенні перевірок відключення і включення можуть виконуватися за допомогою ручного важеля, який можна встановлювати на якорі вмикаючого магніту.

Вимикання навантаження досягається прямо через розчеплювач короткого замикання або залежно від швидкості наростання струму. За допомогою зовнішнього розчеплювача з внутрішнім конденсаторним розчеплювачем. Непряме дистанційне відключення здійснюється за допомогою розчеплювача з шунтової котушкою або розчеплювача мінімальної напруги.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.КРМ.20223.ПЗ					23

Робота камери дугогасіння заснована на принципі розчеплення дуги без азбесту. Камери дугогасіння виготовлені із дугостійкого матеріалу, в якому закладені дугові пластини. Дугові пластини розчеплюють дугу на часткові дуги і збільшують напругу дуги шляхом множення падіння напруги на аноді і катоді. Через високу теплоємність пластини і стінки дугогасної камери поглинають велику кількість енергії дуги.

Автоматичні вимикачі GERAPID обладнані двоступеневою системою контактів. Основні контакти покриті срібним композитним матеріалом, контакти дугогасіння зроблені з міді і легко замінюються. Гнучкий контакт пов'язаний із з'єднанням за допомогою дуже щільних обпліток.

Застосування досконаліших компонентів і комплектуючих дозволяє скоротити об'єм енергоємного устаткування. Так застосування у випрямлячах тягових підстанціях сучасних могутніх напівпровідникових приладів дозволяє скоротити їх загальне число в установках, використання нових тиристорів дає можливість спростити тяговий перетворювач постійного струму 3,3 кВ. Це дозволило створювати більш компактні перетворювачі з ефективною системою охолодження, що навіть при природному охолодженні забезпечує значні переважувальні можливості.

Застосування керованих випрямлячів дозволило ввести автоматичну підтримку заданого рівня напруги на шинах 3,3 кВ підстанції.

У якості трансформаторів власних потреб на нових підстанціях використовуються більш надійні сухі трансформатори, встановлені в приміщеннях тягових підстанцій. Власні потреби постійного струму одержують живлення від сучасних герметичних акумуляторних батарей, що не потребують обслуговування. Батареї експлуатуються при підтримці постійної напруги підзаряду з двома зарядно-підзарядними агрегатами і призначені для довгого періоду роботи. Вони можуть працювати в циклічному режимі, дозволяючи глибокий розряд.

Для обліку електроенергії (з лічильниками), застосована автоматизована система, що дозволяє оперативно і дистанційно контролювати завантаження тягових підстанцій по окремих приєднаннях.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				24

Створений компанією ABB T&D елегазовий комутаційний комплекс PASS MO – результат багаторічних досліджень і розробок, результат багаторічного досвіду виробництва і експлуатації високовольтних підстанцій фахівцями компанії. Конструкція комірок дозволяє реалізувати всі можливі схеми розподільчих пристроїв.

Модуль PASS дозволяє виконати будь-яку компоновку підстанції найефективніше використовуючи займану площу. Компактність підстанції гарантована багатим досвідом у області досліджень і розробок, виробництва і експлуатації розподільчих пристроїв.

Основні характеристики PASS, це його компактність і модульна конструкція, яка дозволяє увімкнути декілька функцій у одному модулі:

- введення, під'єднувані до одній або двох збірних шин;
- силовий вимикач;
- один або декілька комбінованих роз'єднувачів/заземлювачів;
- трансформатор струму.

PASS MO відповідає комплектної високовольтної комірки.

В PASS MO всі частини, що знаходяться під напругою, за винятком збірних шин, укладені в заземлений алюмінієвий корпус, заповнений стислим елегазом. Кожен полюс знаходиться в окремому корпусі. Таким чином досягається максимальна готовність і безпека. Кожен корпус виконаний з відлитих або сварних алюмінієвих конструкцій. Компактна конструкція PASS MO забезпечується завдяки відмінній якості ізоляції елегазу.

Застосування сучасних мікропроцесорних пристроїв захисту, автоматики, контролю та управління приєднань 6-35 кВ МРЗС-05 та фідерів контактної мережі змінного струму МРЗС-05-06 розроблених ВО «Київприлад» дозволяє реалізувати необхідний ПУЕ набір захисту приєднань, визначати залишковий ресурс комутаційних апаратів, знати не тільки інформацію про стан об'єкту, але і зберігати детальну інформацію про процеси, що відбуваються в аварійній ситуації з записом дискретних сигналів під час аварії. Така інформація забезпечує

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				25

можливість аналізу процесів, розширює можливості прогнозу, дозволяє обслуговування пристроїв по результатам діагностики.

Зростання надійності устаткування, скорочення часу на його обслуговування, збільшення періоду між черговими профілактичними роботами, застосування сучасної електронної апаратури дає широкі можливості для розширення функцій управління устаткування, завдяки ширшій інформації про стан устаткування електропостачання і забезпечує можливість спрощення схемних рішень побудови тягових підстанцій.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				26

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ОДНОЛІНІЙНОЇ СХЕМИ ТП М

3.1 Постановка задачі

З огляду на результати аналізу схеми з розділу 1 проведемо заміну короткозамикача та віддільника на вводі підстанції на вимикач та заміну фідерних вимикачів на більш сучасні.

Умови вибору вимикачів наступні:

1. Високовольтні вимикачі змінного струму

Вимикачі вибираються за родом установлення, номінальної напруги та струму:

$$U_{\text{ном}} \text{ і } U_{\text{роб}}, \\ I_{\text{ном}} \text{ і } I_{\text{роб.мах}}$$

де $U_{\text{ном}}$ і $I_{\text{ном}}$ – номінальні напруга, кВ і струм вимикача, А, беруться із паспортних даних або з довідкової літератури;

$U_{\text{роб}}$ і $I_{\text{роб.мах}}$ – напруга в кВ і максимальний струм в А кола, де встановлюється вимикач. Виконання умов гарантує роботу вимикача у нормальному режимі.

Надійна робота вимикача при к.з. забезпечується перевіркою на електродинамічну і термічну стійкість, за номінальним струмом відключення.

Перевірка на динамічну стійкість:

$$i_{\text{д}} \text{ і } i_{\text{у}},$$

де $i_{\text{д}}$ – амплітудне значення струму динамічної стійкості вимикача за паспортом, кА;

$i_{\text{у}}$ – розрахункове значення ударного струму, кА.

Перевірка на термічну стійкість:

$$I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} \text{ і } B_{\text{к}},$$

де $B_{\text{к}}$ – тепловий імпульс струму к.з., який проходить через вимикач, $\text{кА}^2 \text{с}$

$I_{\text{Т}}$ і $t_{\text{Т}}$ – струм і час термічної стійкості за паспортом, відповідно в кА і с;

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	27

Перевірку вимикача на термічну стійкість допускається виконувати за тепловим імпульсом для часу термічної стійкості вимикача по паспорту t_T , тобто $B_K = I_K^2 t_T$, хоча це приводить до підвищеного теплового імпульсу, так як у більшості випадків t_T і $t_{\text{відкл}}$.

Перевірка за номінальним струмом відключення:

$$I_{\text{ном.відкл}} \text{ і } I_K,$$

де $I_{\text{ном.відкл}}$ – номінальний струм відключення за паспортом, який вимикає вимикач,
А.

2. Швидкодіючі автоматичні вимикачі постійного струму 3,3 кВ

Вимикачі вибираються по номінальній напрузі, струму і перевіряються на властивість відключення:

$$I_{\text{відкл.мах}} \text{ і } I_K,$$

де $I_{\text{відкл.мах}}$ – найбільше значення струму відключення, кА, по довідниковим даним;
 I_K – струм к.з., кА:

$$I_K = \frac{1,1 I_{\text{дном}} n}{\frac{U_K \%}{100} + \frac{e S_{\text{ном.т}}}{S_K}},$$

де $I_{\text{дном}}$ – номінальний струм випрямляча, кА;

n – кількість одночасно працюючих випрямлячів;

$U_K \%$ – напруга к.з. тягового трансформатору, %;

$S_{\text{ном.т}}$ – сумарна номінальна потужність робочих тягових трансформаторів,
кВА;

S_K – потужність к.з. на шинах, від яких живиться перетворювальний агрегат,
кВА.

3.2 Вибір та обґрунтування обладнання

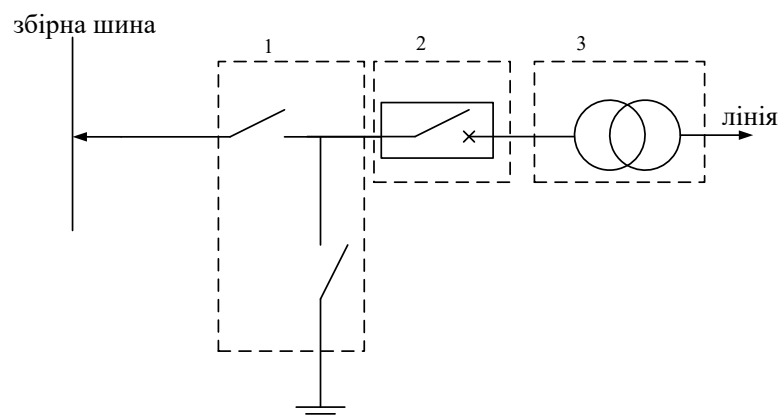
						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ	28

Пропонується встановлення елегазової комірки ПАСС М0 -170 для напруги 150 кВ (рис. 3.1)

а)



б)



а – зовнішній вигляд; б – електрична схема

Рисунок 3.1 – Комірка ПАСС М0 стандартної конфігурації з однією системою збірних шин

Основні переваги комірки ПАСС – модульна конструкція та компактність, що дозволяють поєднати в одному модулі наступні апарати [9]:

- силовий вимикач;
- один або декілька роз'єднувачів і заземлювачів;
- трансформатор струму;

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ

Арк.

29

- вводи що під'єднуються до однієї або двом системам збірних шин, що реалізовані в середині комірки.

При застосуванні для управління коміркою ПАСС М0 електронного блоку додатково може бути реалізована функція вимірювання високої напруги.

Всі елементи комірки, що знаходяться під напругою, поміщені в заземлений алюмінієвий корпус, який заповнений елегазом або сумішшю елегазу з азотом. Елементи кожної фази знаходяться в окремому корпусі.

На рис. 3.1 наведена схема комірки ПАСС М0 стандартної конфігурації з однією системою збірних шин. За необхідності в комірці ПАСС М0 можуть бути реалізовані дві системи збірних шин.

Як видно з рис. 3.1 на підстанції, створеної на її основі, відсутні традиційні збірні шини, так як вони реалізовані в середині комірки.

Пропонується встановити швидкодіючі вимакачі ВАБ – 206 замість старих фідерних вимикачів.

Загальний вигляд вимикача приведено на рисунку 3.2, полюса – на рисунку 3.3.

Включення і утримання у включеному положенні здійснюється за рахунок приводного електромагніту. Приводний електромагніт вимикача розташований на потенціалі землі (на рамі (1)) і ізольований від головних контактів вимикача на повну випробувальну напругу.

Електромагніт приводу складається з магнітопровода (2), котушки управління (5) і якоря (9), що обертається на осі (8). Також на осі (8) кріпиться якір механізму вільного розчіплення (6). Якір (9) зв'язаний за допомогою допомогою осі (16) сполучена з важелем (33), який жорстко пов'язаний з рухомим контактом (25). Пружини (13) забезпечують натиснення головних контактів, а пружини (7) забезпечують відключення і утримання якоря (9) і рухомого контакту (25) у відключеному положенні.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	30

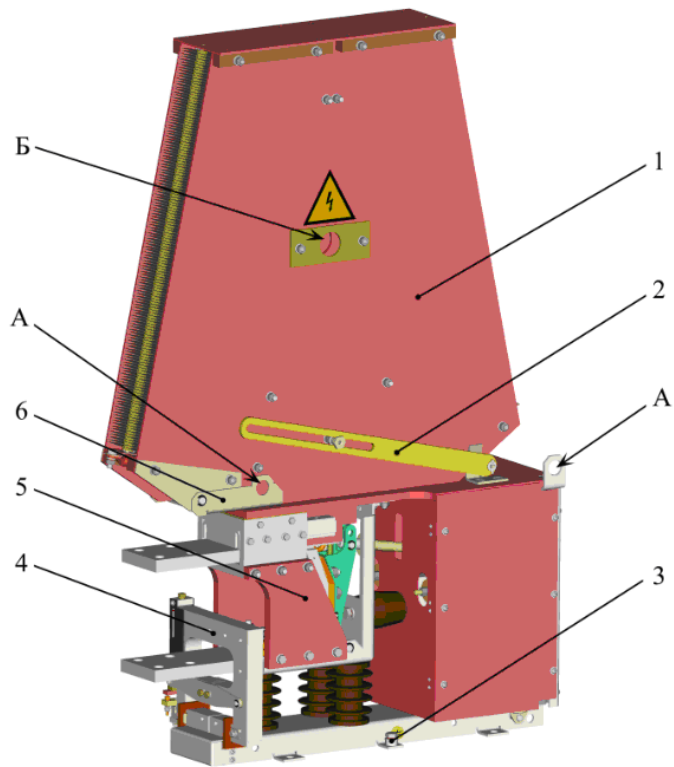


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд вимикача ВАБ-206:

1 – камера дугогасительная; 2 – тяга; 3 – болт заземлення; 4 – реле струму; 5 – полюс; 6 – підшипник.

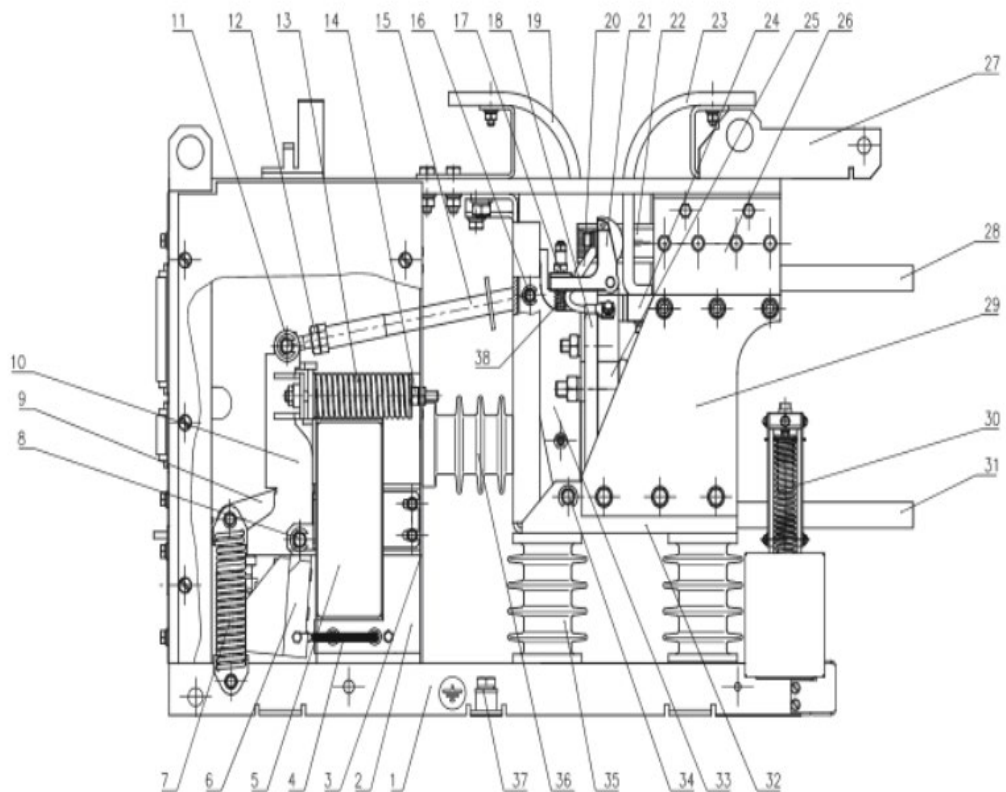


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд полюса вимикача ВАБ-206

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.ЕЕ2221.КРМ.20223.ПЗ

Арк.

31

Контактний блок складається з нижньої вивідної шини (31), закріпленої на рамі (32), рухомого контакту (25), сполученого з шиною (31) гнучкими зв'язками (18) і що обертається на осі (34), нерухомого контакту (24), який сполучений з котушкою магнітного дуття (26), і верхньої вивідної шини (28). Нерухомий контакт закріплений на ізоляційних стінках (29). На рамі (32) і нерухомому контакті (24) встановлені дугогасильні роги (19) і (23).

Рухомий контакт (25) і нерухомий контакт (24) мають срібні напайки, захищені від обгара дугогасильним контактом (21).

Контактне натиснення дугогасильного контакту (21) створюється пружиною (38).

Гайка (17) служить для регулювання провалу дугогасильного контакту. Всі вузли контактної групи встановлені на ізоляторах (35). Контактний блок через ізолятор (36) сполучений з магнітопроводом (2) приводного електромагніту. Підведення струму здійснюється через верхню шину (28) і нижню шину (31). На рамі (1) є два болти заземлення (37).

Реле струму рисунок 3.4 складається з магнітопровода (1), який в нижній частині розділений на дві паралельні магнітні гілки.

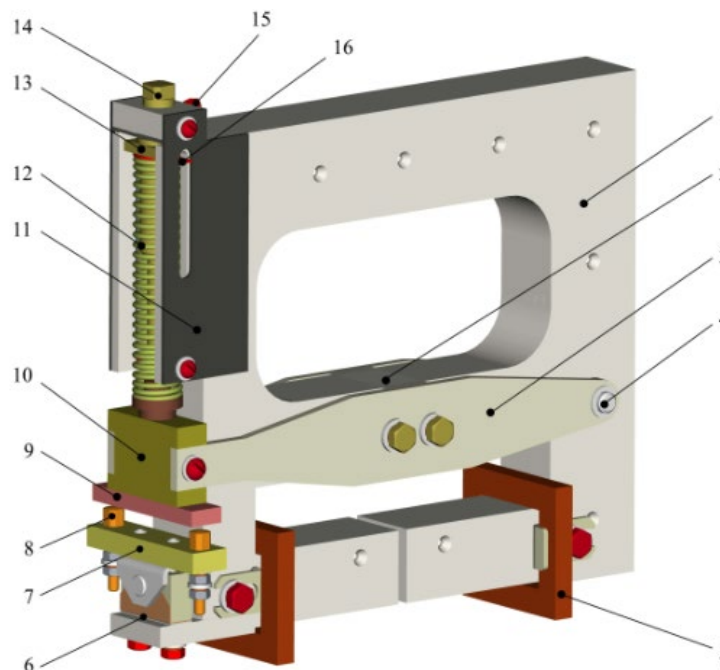


Рисунок 3.4 – Реле струму

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ	32

На гілку меншого перетину насаджені короткозамкнуті кільця (5) з міді. До магнітопровода (1) через ізоляційну планку (7) прикріплені контакти (8). На шкалі (11) вказані значення струмів уставки. Окрім цього на магнітопроводі (1) за допомогою осі (4) і важелів (3) встановлений якір (2). На важелях (3) через ізоляційну колодку (10) закріплена контактна планка (9). Уставка реле регулюється стисненням пружини (12) за допомогою болта (14). Між пружиною (12) і пробкою (13) встановлена стрілка (16), вказуюча значення струму уставки на шкалі (11). Реле струму відключає вимикач, розриваючи ланцюг котушки управління (5)

рисунок 3 вимикача.

Дугогасильна камера рисунок 3.5 є два паралельних дугостійких ізоляційних щита (1), між якими встановлені пластини підвищеної дугостійкості (6).

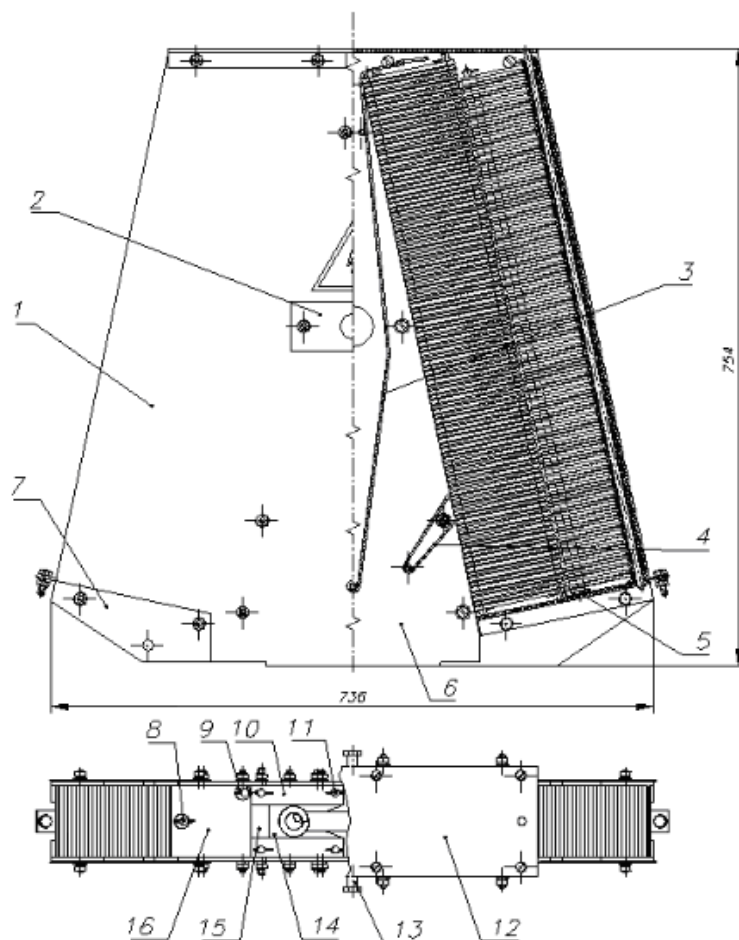


Рисунок 3.5– Камера дугогасильна вимикача ВАБ-206

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Між пластинами підвищеної дугостійкості (6) розташовані допоміжні роги (3) і (4). Окрім цього між щитами (1) знаходяться дугогасильний блок і блок іскрогасних пластин. Дугогасильний блок є набір змінених сталевих дугогасильних пластин (14), ізольованих одна від одної за допомогою ізоляційних пластин (10). Крім того, в дугогасильний блок входять додаткові ізоляційні пластини (15), які служать для ізоляції дугогасильних пластин (14) від блоку іскрогасних пластин. Дугогасильний блок зібраний на склопластикових стрижнях (11). Блоком іскрогасних пластин є набір тонких металевих пластин (16), зібраних на стрижнях (8), пластини електрично ізольовані одна від одної за допомогою ізоляційних шайб (9).

Зверху і знизу камера закрита дугостійкими ізоляційними кришками (5) і (12). Збоку на камері встановлені підшипники (7) і гайки (13) для кріплення камери на полюс. Крім того, встановлені додаткові пластини (2) для транспортування камери.

1.3.управління.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	34

4. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

4.2 Показники надійності електроенергетичного обладнання

Якщо зробити n дослідів випробування будь-якого технічного пристрою, в ході яких у m дослідах відмова спостерігалася, то відношення цих двох величин характеризує імовірність відмови даного пристрою

$$Q = \frac{m}{n}.$$

При збільшенні числа дослідів випадковість відмов втрачає свій випадковий характер і наближається до величини ймовірності відмови. На практиці випадковість відмов при досить великому числі дослідів приймають в якості наближеної оцінки ймовірності відмови Q .

При обмеженому числі дослідів n випадковість відмов є випадковою величиною. Якщо до того ж і число відмов m невелике (або навіть дорівнює нулю), то випадковість відмов виявляється розподіленою за біноміальним законом.

Користуючись методом довірчих інтервалів, можна оцінити число дослідів n , при якому з довірчою ймовірністю δ можна очікувати, що різниця між ймовірністю відмови і випадковістю не перевищить заданого значення. Відмова та відновлення – це дві протилежні випадкові події. На практиці, в експлуатації і при випробуваннях, ці події реєструються в часі.

Відрізки часу між цими подіями є випадковими величинами, які також характеризують ймовірність відмови. Під потоком подій в теорії масового обслуговування розуміється потік подій, що відбуваються одна за іншою в якісь моменти часу t . Події, що утворюють потік, в загальному випадку можуть бути і різними. Ми будемо розглядати потоки однорідних подій, що розрізняються тільки моментами їх появи.

Графічно потік відмов і відновлень можна представити у вигляді нескінченно коротких імпульсів при нульовому часі відновлень або у вигляді прямокутних імпульсів (рис. 4.1) при кінцевому часі відновлення.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				35

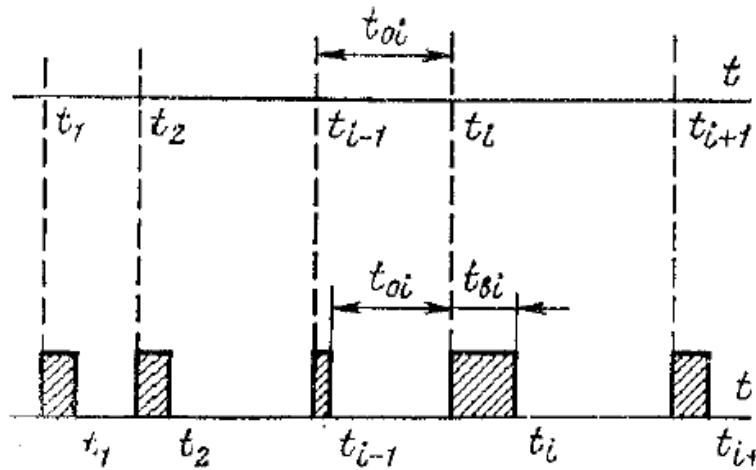


Рисунок 4.1 – Потік відмов та пошкоджень

Важливою характеристикою потоку є миттєвий параметр потоку $w(t)$, який визначається межею

$$w(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Omega(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum k P_k(t, t + \Delta t)}{\Delta t},$$

та миттєва щільність потоку дорівнює

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum P_k(t, t + \Delta t)}{\Delta t},$$

де $P_k(t, t + \Delta t)$ – вірогідність появи на проміжку $(t, t + \Delta t)$ k подій,

$\sum P_k(t, t + \Delta t)$ – вірогідність появи на проміжку $(t, t + \Delta t)$ не менше k подій,

$\Omega(t, t + \Delta t)$ – середня кількість подій на проміжку $(t, t + \Delta t)$.

Потоки подій, що зустрічаються в практиці, мають ряд властивостей. Найбільш простою є властивість ординарності потоку. Потік називається ординарним, якщо ймовірність суміщення двох або більше подій в один і той же момент часу настільки мала, що практично таке поєднання є неможливим, тобто

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum P_k(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = 0.$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

У цьому сенсі потік відмов одного будь-якого елементу обладнання є ординарним. Потік відмов декількох одиниць обладнання, наприклад генераторів станції, в загальному випадку не ординарний, але практично умова в більшості випадків виконується.

Потік відновлень для великого числа одиниць обладнання також може бути ординарний. Для ординарних потоків вирази спрощуються і приймають вигляд:

$$w(t) = \lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum P_1(t, t + \Delta t)}{\Delta t} + o(t),$$

де $\sum P_1(t, t + \Delta t)$ – вірогідність появи на проміжку $(t, t + \Delta t)$ однієї відмови,

$o(t)$ – умовне позначення нескінченно малої величини більш високого порядку малості, ніж Δt .

Потік подій є стаціонарним, якщо його імовірнісний режим не змінюється в часі, тобто якщо ймовірність появи k відмов на відрізку часу $(t, t + \tau)$ залежить тільки від τ . Для стаціонарного потоку, відповідно, інтенсивність потоку і параметр потоку не залежать від часу t , тобто

$$w(t) = w = \text{const}$$

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const}$$

Якщо потік подій до того ж і ординарний, то

$$w = \lambda = \text{const}.$$

Потік подій називається потоком без післядії, якщо для будь-яких інтервалів часу, що не перекриваються число подій, що з'являються в одному з них, не залежить від числа подій, що з'являються в іншому інтервалі.

Ординарні потоки без післядії називаються пуассонівськими потоками. Таке найменування пов'язано із застосуванням для обчислення вірогідності настання m

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				37

подій за час t використовують формули Пуасона. Пуасонівські потоки можуть бути як стаціонарними, так і нестаціонарними. Стаціонарний пуасонівський потік вважається найпростішим.

Реальні потоки подій в загальному випадку нестаціонарні. Довести стаціонарність потоку, наприклад відмов, можна тільки шляхом статистичної обробки результатів спостереження. Однак іноді стаціонарність потоку приймають в якості гіпотези для спрощення розрахунків. Ґрунтуються при цьому на граничних теоремах К. Пальма, А. Я. Хинчина і Б. І. Грігеліоніса, які зводяться до наступного простого правила. Якщо обладнання або установка складаються з великого числа частин, кожна з яких може відмовити лише з малою вірогідністю і ці відмови для різних частин незалежні між собою, то сумарний потік відмов може вважатися близьким до найпростішого, якщо сума ймовірностей більш ніж однієї відмови нескінченно мала. У добре спроектованої і правильно експлуатуємої технічної системи потік відмов – найпростіший.

Не стаціонарність потоку відмов у окремих типів електроенергетичного обладнання викликається наявністю періоду підробітки, коли виявляються приховані дефекти виготовлення і монтажу, і наявністю явища старіння ізоляції, зносу і розрегулювання механічних частин і т. ін. Обладнання високої напруги, крім того, має сезонну не стаціонарність потоку відмов, пов'язану з впливом гроз або ожеледиці. Інтенсивність потоку пошкоджень в грозові місяці зростає в десятки разів.

Для нестаціонарного пуасонівського потоку математичне очікування числа подій на відріжку часом (t_1, t_2)

$$a = \int_{t_2}^{t_1} w(t) dt .$$

Для стаціонарного пуасонівського потоку

$$a = wt ,$$

						Арк.
					02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

і закон Пуасона записується у вигляді

$$P_k = \frac{(wt)^k}{k!} \exp(-wt) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t).$$

Вірогідність відсутності подій ($k=0$) за час τ

$$P_0 = \exp(-wt) = \exp(-\lambda t),$$

буде ймовірністю безвідмовної роботи $R(t)$ в разі розгляду потоку відмов.
Ймовірність відмови

$$Q(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp(-wt) = 1 - \exp(-\lambda t).$$

Тобто закон розподілу часу безвідмовної роботи T_0 – експоненціальний.

Функції $Q(t)$ і $R(t)$ побудовані відповідно до формул на рис. (4.2).

В теорії надійності потік відновлень характеризується за аналогією з потоком відмов наступними характеристиками:

1) ймовірністю відновлення за час t

$$V(t) = P[T_i < t],$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	39

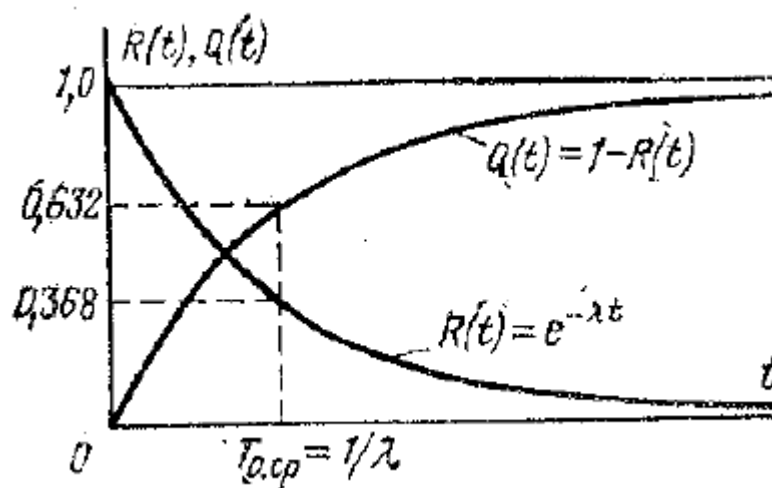


Рисунок 4.2 – Криві ймовірності. безвідмовної роботи $R(t)$ та ймовірності відмови $Q(t)$

2) ймовірністю не відновлення за час t

$$G(t) = 1 - V(t) = P[T_i \geq t],$$

3) середнім часом відновлення

$$T_{ісєр} = M[T_i] = \int_0^{\infty} t dV(t) dt,$$

4) інтенсивністю відновлення

$$\mu = \frac{1}{T_{ісєр}},$$

Електроенергетичні установки відносяться до відновлюваних технічних систем. Після відмови установки або її обладнання наступає відновлення. Під відновленням розуміється виявлення пошкодження або несправності і їх усунення.

Випадкова величина часу відновлення складається з двох складових:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ	40

$$T_{ісер} = T_{іо} + T_{іу}$$

де $T_{іо}$ – час на виявлення місця пошкодження або несправності,

$T_{іу}$ – час на усунення несправності, заміну або ремонт пошкодженого елемента.

Закон розподілу випадкової величини. $T_i V(t)$ для різного обладнання може бути описаний експонентою, гамма-функцією або функцією розподілу Вейбула. Експонентний закон розподілу часу відновлення справедливий при наступних умовах:

1) коли відновлення пов'язано з рядом спроб, кожна з яких призводить до необхідного результату з якоюсь імовірністю;

2) коли щільність розподілу часу відновлення убуває з зростанням аргументу t .

Виявлення несправностей в електроенергетичній установці здійснюється, як правило, рядом послідовних перевірок і задовольняє першій умові.

Другій умові відповідає вимога швидкого відновлення основної маси відмов. Значні затримки у відновленні в енергосистемах спостерігаються рідко, що підтверджується аварійною статистикою. Отже, з цього боку немає перешкод до застосування експоненціального закону.

В якості показників надійності використовуються:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- коефіцієнт готовності;
- параметр потоку відмов;
- інтенсивність відмов;
- напрацювання, на відмову;
- ресурс;
- термін служби;
- середній час відновлення;
- коефіцієнт технічного використання.

Інтенсивність відмов – відношення швидкості зміни імовірності відмови до ймовірності безвідмовної роботи:

$$\lambda(t) = \frac{dQ(t)}{R(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{d}{dt} \ln[R(t)],$$

У термінах ймовірностей $\lambda(t)$ – щільність умовної ймовірності відмови в момент t за умови, що до цього моменту виріб працювало безвідмовно.

Методи розрахунку показників надійності електроенергетичних установок.

Сучасні методи розрахунку надійності діляться залежно від принципу обліку відмов на методи, що враховують момент появи відмов, і методи, що враховують процес появи відмов.

Залежно від обліку ремонту і відновлення вони діляться на методи, що не враховують ремонт і відновлення устаткування, і методи, що враховують ремонт і відновлення устаткування.

Рішення задачі розрахунку надійності установки можна виконувати п'ятьма способами:

- 1) за допомогою основних теорем теорії ймовірностей;
- 2) шляхом складання і рішення системи диференціальних рівнянь марковського процесу переходу установки від стану до стану;
- 3) шляхом еквівалентних перетворень розрахункової схеми в поєднанні з першим і другим способами;
- 4) на основі застосування топологічних і логічних методів;
- 5) шляхом статистичного моделювання випадкового процесу переходу установки від стану до стану (метод Монте-Карло).

Перший спосіб в даний час набув найбільшого поширення. У ньому використовуються теореми додавання і множення ймовірностей і формула повної ймовірності.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				42

Другий спосіб теж досить поширений і передбачає, що математична модель установки повинна враховувати як можливі стани окремих елементів і установки в цілому, так і перехід установки зі стану в стан.

Аналітичний розрахунок по третьому способу полягає в поетапному розрахунку складних систем за допомогою ряду виразів, отриманих першим або другим способом для найпростіших сполук елементів, тобто шляхом послідовного еквівалентування елементів розрахункової схеми.

Топологічними називаються методи аналізу системи, засновані на понятті стану і переходів між станами.

Методи можуть бути реалізовані як за допомогою матриць (перехідних ймовірностей або інтенсивностей переходу), так і за допомогою орієнтованих графів.

У сукупність логічних методів входять: логіко-імовірнісний, логіко-аналітичний, логіко-статистичний, таблично-логічний.

Загальною частиною для всієї цієї групи методів є етап отримання логічної функції системи. Для простих систем логічна функція системи виходить безпосередньо за схемою, для складних випадків розроблені спеціальні методи. Другий етап у цих методів різний.

У логіко-імовірнісного методу цей етап полягає в безпосередньому обчисленні логічної функції. У найпростішому випадку це здійснюється безпосередньою підстановкою показників надійності елементів в логічну функцію. Для більш складних випадків доцільно провести попередньо спрощення логічної функції. Процес спрощення полягає в перетворенні логічної функції в систему незалежних в сукупності членів. В цілому цей метод знайшов досить широке застосування, як у нас, так і за кордоном, при розрахунку надійності систем електропостачання.

Логіко-аналітичний метод полягає в знаходженні показників надійності системи по її логічній функції. Для не відновлюваних систем він відомий давно, а для відновлюваних відносно новий.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	43

Таблично-логічні методи полягають в запису логічних зв'язків між відмовами елементів, станами і аваріями в установці в формі таблиць або матриць з подальшим обчисленням показників надійності за допомогою цих таблиць.

Метод статистичного моделювання отримав досить широке поширення головним чином за рахунок того, що дозволяє проводити розрахунок надійності систем без внесення жодних обмежень на вигляд законів розподілу випадкових величин, їх числа, способів резервування і обслуговування і т. ін.

Логіко-статистичний метод полягає в статистичному моделюванні логічної функції системи для отримання і аналізу станів роботи і відмови системи. За рахунок того, що час нормальної роботи досліджується аналогічно і лише час відновлення – методом Монте-Карло, досягається істотне прискорення процесу вирішення. Більшість дослідників надійності електроенергетичних установок воліє мати справу з аналітичними, логічними методами і методом статистичних випробувань. Вибір методу диктується потребами завдання.

Підвищення надійності тягової підстанції

Підстанції є важливою частиною електричної системи. Вони виконують роль сполучної ланки між постачальником електроенергії, і її споживачем. Тому забезпечення якісної і надійної роботи ТП є першочерговим завданням.

Функціями підстанції є: трансформація електроенергії з одного рівня на інший, розподіл електроенергії між приєднаннями на всіх рівнях напруги.

Порушення першої функції супроводжується погашенням секції збірних шин. Порушення другої функції на стороні живлення призводить до погашення всієї або частини підстанції або розриву транзиту. Порушення другої функції на стороні видачі потужності призводить до погашення одного з приєднань або всіх приєднань секції шин.

До складу підстанції як установки входить наступне обладнання: силові трансформатори, вимикачі, роз'єднувачі, віддільники і шини з вимірювальною та захисною апаратурою.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	44

Пошкодження збірних шин можуть бути викликані перекриттям і руйнуванням опорної ізоляції, ушкодженнями вимірювальної апаратури, порушенням контактів, помилковими діями експлуатаційного персоналу і рядом інших причин.

Відмовами роз'єднувачів є електричні та механічні пошкодження, що викликають к.з. в комірці, а також інші пошкодження і несправності, що вимагають негайного виведення в ремонт. До відмов короткозамикача, крім того, відносяться мимовільні включення і відмова у включенні, а до відмов віддільника - відмова у відключенні в безструмову паузу. Переважна більшість відмов цієї апаратури викликає к.з. в місці їх установки. Запобіжники високої напруги крім пошкодження відмовляють ще й в разі неселективного і помилкового спрацьовування.

Найбільш часті помилки персоналу, які призводять і до аварій на підстанціях, полягають в помилковому відключенні або включенні обладнання; в подачі напруги на не зняті заземлювачі; у включенні заземлюючих ножів на напругу; у відключенні роз'єднувачів під навантаженням.

Показниками надійності підстанцій є: середні кількості погашених збірних шин, окремих секцій і приєднань і розриву транзиту за розглянутий проміжок часу, і середні тривалості відновлення процесів електропостачання та транзиту.

Відмови підстанції в функціонуванні настають внаслідок відмов трансформаторів, комутаційної апаратури, помилкових дій персоналу і відмов пристроїв регулювання напруги і реактивної потужності, а також пристроїв релейного захисту та автоматики.

Відмовами вимикачів високої напруги є К.З. в комірці вимикача через його пошкодження як при відключенні, так і без відключення К.З. на приєднання, а також інші ушкодження і несправності, що вимагають негайного виведення вимикача в ремонт (руйнування порцеляни, відмови у включенні і відключенні і т. ін.)

Статистичні дослідження показали, що масляні вимикачі в значній кількості випадків (від 17 до 35%) відмовляють при відключенні струмів К.З. і в більшості випадків їх відмова супроводжується К.З. в комірці (від 66 до 100%), а отже, і на шинах РП. Відмови вимикачів, таким чином, є джерелом більшого числа К.З.

									Арк.	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ					45

При дослідженнях надійності підстанція може розглядатися як елемент електропередачі в якості кінцевого або перемикаючого пристрою або як елемент системи електропостачання. При цьому зіставлення варіантів головних схем електричних з'єднань підстанцій не може проводитись без урахування надійності ліній. Слід також враховувати, що відновлення функціонування залежить від можливості швидких оперативних перемикачів.

Надійність підстанцій як елемента системи електропостачання залежить від швидкості і безвідмовності дії пристроїв релейного захисту, автоматичного повторного включення ліній і трансформаторів. Пристрої релейного захисту в ході експлуатації можуть бути в декількох станах:

- 1) повної працездатності з включенням у вторинні кола вимірювальних трансформаторів і в оперативні кола апаратури,
- 2) повної працездатності, але виведені з роботи за вторинними і оперативними колами,
- 3) нечутливість до пошкоджень в зоні дії,
- 4) чутливості до пошкоджень поза зоною дії,
- 5) подачі помилкового сигналу в оперативні кола при відсутності будь-яких збурень в первинному колі.

Останні три стани викликають відповідно три види відмов пристроїв РЗА:

- а) відмови в спрацьовуванні при появі пошкодження або ненормального режиму;
- б) неселективні спрацьовування при пошкодженнях на сусідній ділянці;
- в) помилкові спрацьовування при відсутності пошкоджень і ненормальних режимів.

Організація системи ремонтів та профілактики також значно впливає на надійність підстанцій як елемента електропостачання.

Оцінка надійності підстанцій необхідна при виборі схеми підключення до енергосистеми різних споживачів, електростанцій і ліній електропередачі. При цьому вибирається і схема електричних з'єднань підстанцій. Оцінка надійності

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	46

також необхідна при виборі числа і потужності трансформаторів, виборі форми обслуговування для підстанцій мережі високої напруги.

4.2 Оцінка ступеня зміни надійності підстанції від заміни обладнання в типових схемах

Оцінимо ступінь зміни надійності при заміні того чи іншого типу електротехнічного обладнання в РП тягових підстанцій. При цьому будемо вважати, що заміні підлягають всі елементи одного і того ж типу, а інші апарати залишаються незмінними. Надалі таку заміну будемо називати почерговою.

Найбільш важливими елементами РП можна вважати комутаційні апарати (силовий вимикач, роз'єднувач) і засоби захисту від перенапруг (розрядники, обмежувачі перенапруг). Тому розрахунок надійності будемо проводити для чотирьох варіантів:

- 1) установка тільки обмежувачів перенапруг натомість розрядників;
- 2) установка тільки сучасних роз'єднувачів замість застарілих;
- 3) установка тільки елегазових вимикачів;
- 4) одночасна заміна всіх вище перерахованих апаратів.

Результати розрахунку зведемо в табл. 4.1 та покажемо на рис. 4.3

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків зміни надійності електроспоживання споживачів тягових підстанцій при почерговій заміні обладнання

Показник	Варіанти заміни обладнання				
	Все старе	ОПНи	Роз'єднувачі	Елегазові вимикачі	Все сучасне
P_c	0,8327	0,8533	0,8823	0,9644	0,9782

Оцінимо наскільки у відсотках підвищується надійність (ймовірність безвідмовної роботи) електропостачання споживачів типової схеми тягової підстанції при почерговій заміні в її РП застарілих типів обладнання на сучасне і результат представимо на рис. 4.1.

З рис. 4.1 видно, що на тяговій підстанції на відпайках при повній заміні застарілого обладнання на сучасне збільшення надійності становить майже 17,5%.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ					47

При заміні тільки одного типу обладнання найбільший ефект (15,82%) досягається при установці елегазових вимикачів. Це збільшення надійності роботи РП становить понад 90% від збільшення надійності при повній заміні обладнання. Найменший ефект (2,5%) спостерігається в разі заміни розрядників на обмежувачі перенапруг.

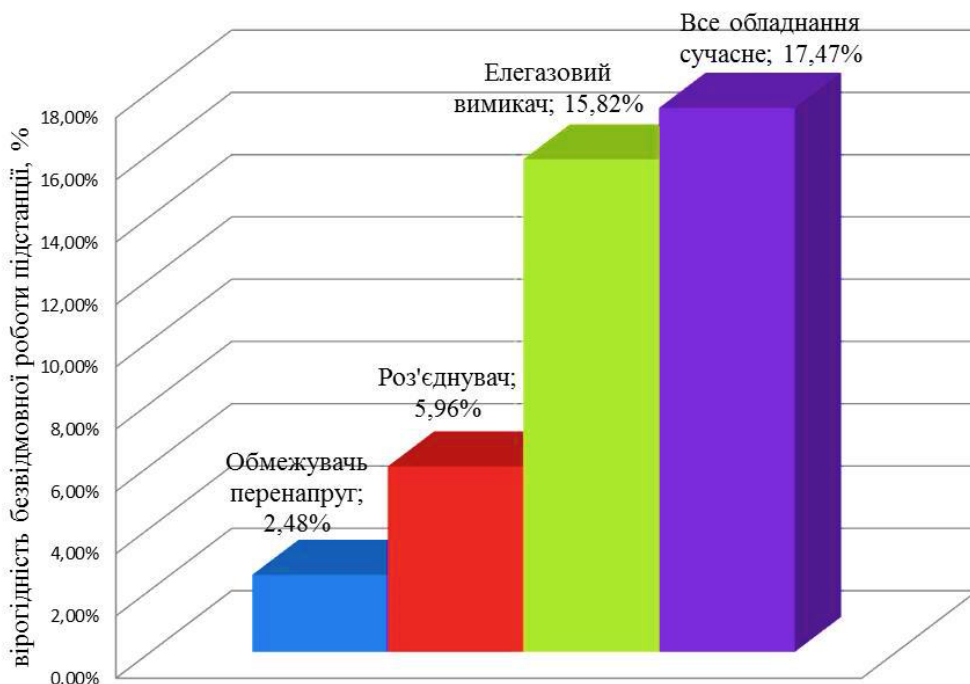


Рисунок 4.3 – Зміна ймовірності безвідмовної роботи типової схеми тягової підстанції за умови заміни обладнання

4.3 Розрахунок показників надійності схемних рішень розподільних пристроїв тягових підстанцій

Проведемо оцінку показників надійності.

Для попередньої оцінки надійності введемо наступні припущення:

- 1) враховуємо два умовно названих типи відмови – обрив і коротке замикання (КЗ);
- 2) етап приробітки закінчено;
- 3) роботу обладнання розглядаємо в період, що дорівнює 5 років. За цей термін знос електроапаратів не позначається на зміні інтенсивності відмов ($\lambda_0 = \text{const}$);
- 4) всі події незалежні.

Перше припущення викликано тим, що всі відмови можна поділити на кілька груп. Виділимо дві основні групи.

Відмови типу обрив складають групу поломок або відмов, які призводять до втрати живлення без зміни схеми електропостачання, наприклад обрив шлейфу. До такої групи можна віднести і помилкові відключення вимикачів.

Групу відмов КЗ складають такі відмови електротехнічного обладнання, які вимагають виділення зі схеми електропостачання елемента, що відмовив шляхом перемикання обладнання. Це призводить до зміни схеми і вимагає врахування надійності суміжного обладнання з несправним елементом схеми.

Друге і третє припущення дозволяють застосувати для подальших розрахунків експонентний закон розподілу, який добре описує раптові відмови випадкового характеру, тобто він справедливий для періоду нормальної експлуатації. Потік подій вважаємо найпростішим стаціонарним пуассонівським потоком.

Четверте допущення дозволяє нам виключити залежні відмови, тобто маємо потік подій без наслідків.

Наведемо основні показники надійності і вирази для їх визначення, за якими будемо порівнювати наведені схеми.

1. Імовірність безвідмовної роботи установки

$$P = e^{-\lambda \cdot T}.$$

2. Імовірність відмови установки

$$Q = 1 - P.$$

Необхідно скласти схеми заміщення по надійності для двох типів відмови, а четверте допущення дозволить нам застосувати теорему множення ймовірностей.

Для прикладу розглянемо складання схем заміщення (рис. 4.4-4.9) по надійності і отримаємо вирази, що визначають імовірність безвідмовної роботи, для варіанта 1 (тягова підстанція на окремо розташованому обладнанні) в вище перерахованих режимах роботи.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				49



Рисунок 4.4 – Режим 1. Обрив

$$P_C = P_{QS1} \cdot P_{QS7} \cdot P_{Q3} \cdot P_{QS8} \cdot P_{QS2}.$$

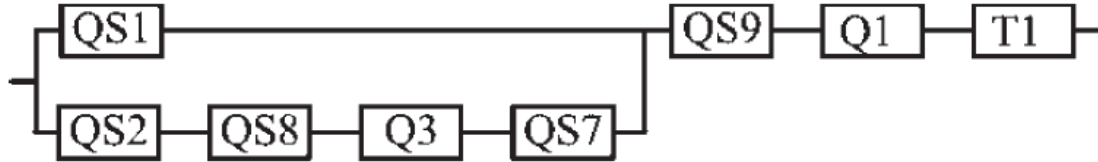


Рисунок 4.5 – Режим 2. Обрив

$$P_C = \left(1 - \left(1 - P_{QS1}\right) \cdot \left(1 - P_{QS2} \cdot P_{QS8} \cdot P_{Q3} \cdot P_{QS7}\right)\right) \cdot P_{QS9} \cdot P_{Q1} \cdot P_{T1}.$$

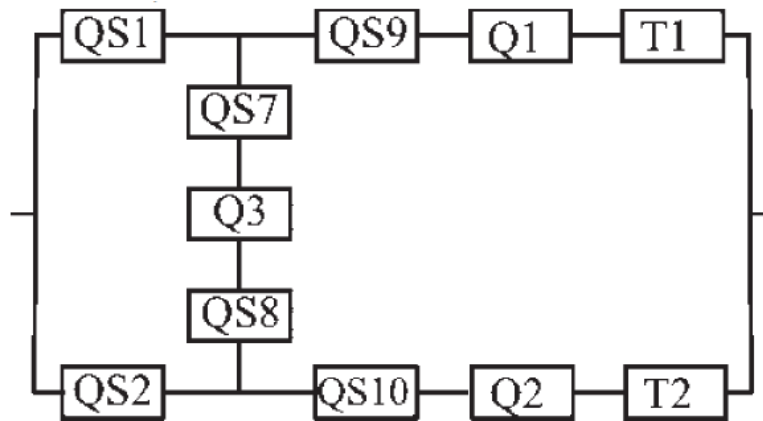


Рисунок 4.6 – Режим 3. Обрив

$$Q_1 = \left(1 - P_{QS1}\right) \cdot \left(1 - P_{QS8} \cdot P_{Q3} \cdot P_{QS7}\right),$$

$$Q_2 = \left(1 - P_{QS2}\right) \cdot \left(1 - P_{QS8} \cdot P_{Q3} \cdot P_{QS7}\right),$$

$$Q_3 = \left(1 - P_{QS1}\right) \cdot \left(1 - P_{QS2}\right),$$

$$P_4 = \left(1 - Q_1\right) \cdot P_{QS9} \cdot P_{Q1} \cdot P_{T1},$$

$$P_5 = \left(1 - Q_2\right) \cdot P_{QS2} \cdot P_{Q2} \cdot P_{T2},$$

$$P_C = \left(1 - Q_3\right) \cdot \left(1 - \left(1 - P_4\right) \cdot \left(1 - P_5\right)\right).$$

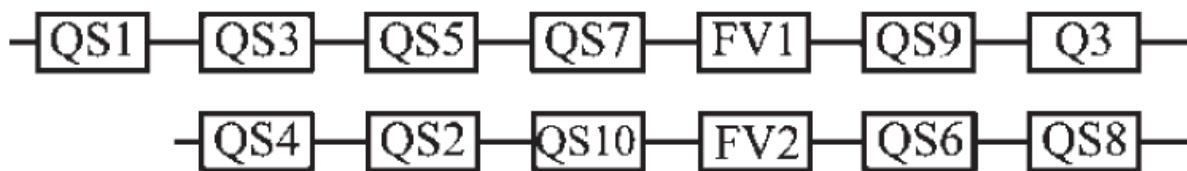


Рисунок 4.7 – Режим 1. КЗ

$$P_C = P_{QS1} \cdot P_{QS3} \cdot P_{QS5} \cdot P_{QS7} \cdot P_{FV1} \cdot P_{QS9} \cdot P_{Q3} \cdot P_{QS8} \cdot P_{QS6} \cdot P_{FV2} \cdot P_{QS10} \cdot P_{QS2} \cdot P_{QS4}$$

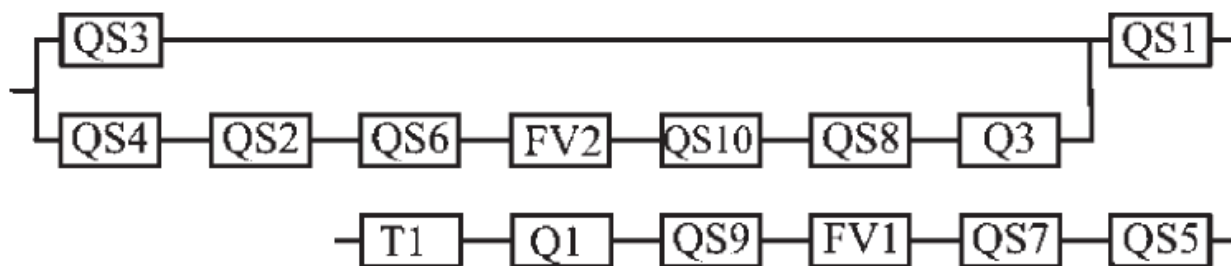


Рисунок 4.8 – Режим 2. КЗ

$$P_C = \left(1 - (1 - P_{QS3}) \cdot (1 - P_{QS4} \cdot P_{QS2} \cdot P_{QS6} \cdot P_{FV2} \cdot P_{QS10} \cdot P_{QS8} \cdot P_{Q3})\right) \times \\ \times P_{QS1} \cdot P_{QS5} \cdot P_{QS7} \cdot P_{FV1} \cdot P_{QS9} \cdot P_{Q1} \cdot P_{T1}$$

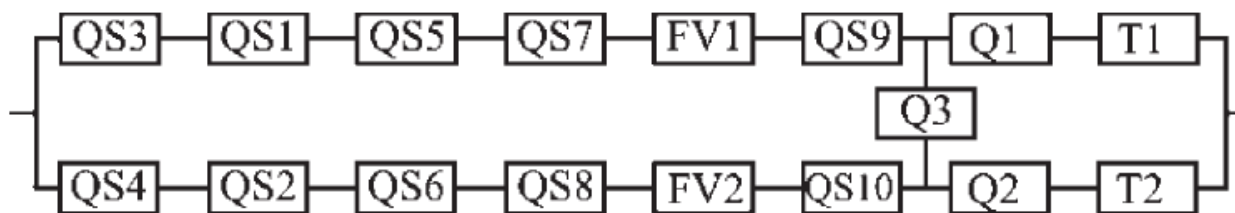


Рисунок 4.9 – Режим 3. КЗ

$$Q_1 = (1 - P_{Q3}) \cdot (1 - P_{QS1} \cdot P_{QS3} \cdot P_{QS5} \cdot P_{QS7} \cdot P_{QS9} \cdot P_{FV1}),$$

$$Q_2 = (1 - P_{Q3}) \cdot (1 - P_{QS2} \cdot P_{QS4} \cdot P_{QS6} \cdot P_{QS8} \cdot P_{QS10} \cdot P_{FV2}),$$

$$Q_3 = Q_1 = (1 - P_{QS1} \cdot P_{QS3} \cdot P_{QS5} \cdot P_{QS7} \cdot P_{QS9} \cdot P_{FV1}) \times \\ \times (1 - P_{QS2} \cdot P_{QS4} \cdot P_{QS6} \cdot P_{QS8} \cdot P_{QS10} \cdot P_{FV2})$$

$$P_4 = (1 - Q_1) \cdot P_{Q1} \cdot P_{T1},$$

$$P_5 = (1 - Q_2) \cdot P_{Q2} \cdot P_{T2},$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

$$P_C = (1 - Q_3) \cdot (1 - (1 - P_4) \cdot (1 - P_5)).$$

Аналогічно можна скласти схеми заміщення і отримати вирази і для інших варіантів схем РП. Для розрахунку і аналізу надійності розглянутих схем скористаємося показниками надійності окремих елементів схем (табл. 4.2).

Надалі проведемо розрахунки показників надійності для двох виконань РП:

- на новому обладнанні ВРП виконано на елегазових вимикачах, роз'єднувачах РГ і ОПН;

- на старому обладнанні ВРП виконано на масляних бакових вимикачах, роз'єднувачах РНДЗ і розрядниках РВС.

Таблиця 4.2 – Інтенсивність відмов, вірогідність безвідмовної роботи та вірогідність відмови об'єктів, що впливають на надійність ТП

Обладнання	Інтенсивність відмов, λ , 1/год	Вірогідність безвідмовної роботи, P	Вірогідність відмови, Q
Масляний вимикач	0,05	0,7788	0,2212
Елегазовий вимикач	0,0068	0,9665	0,0335
Роз'єднувач РНДЗ	0,005	0,9753	0,0247
Роз'єднувач РГ	0,0047	0,97677	0,02323
Виміррювальний трансформатор	0,03	0,8607	0,1393
Розрядник РВС	0,011	0,9465	0,0535
ОПН	0,001	0,995	0,005

Виконаємо оцінку показників надійності як існуючих так і знову запропонованих схемних рішень РП для тягових підстанцій (табл. 4.2). Показники рознесені по відмовах типу «Обрив» і «КЗ». Оцінку надійності будемо проводити за такими основними показниками: ймовірність безвідмовної роботи схеми P_C , ймовірність відмови схеми Q_C , час напрацювання на відмову T_0 .

В чисельнику табл. 4.3 значення при виконанні схеми на сучасному обладнанні, а знаменнику – на застарілому.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку показників надійності схемних рішень РП тягових підстанцій

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.2023.ПЗ				52

Показник	Типова схема на окремо розташованом у обладнанні	Схема на окремо розташованому обладнанні	Схема на інтегральному силовому обладнанні	Схема на спрощеному інтегральному силовому обладнанні	Схема без перемички на окремо розташованом у обладнанні	Схема без перемички на інтегральному силовому обладнанні
Електропостачання споживачів при відмові типу «ОБРИВ»						
P_c	$\frac{0,9956}{0,9392}$	0,9954	0,9991	0,9979	0,9968	0,9992
Q_c	$\frac{0,0044}{0,0608}$	0,0046	0,0009	0,0021	0,0032	0,0008
Електропостачання споживачів при відмові типу «КЗ»						
P_c	$\frac{0,9826}{0,8866}$	0,9830	0,9939	0,9912	0,9930	0,9968
Q_c	$\frac{0,0174}{0,1134}$	0,0170	0,0061	0,0088	0,0070	0,0032
Надійність електропостачання споживачів						
P_c	$\frac{0,9782}{0,8327}$	0,9784	0,9930	0,9891	0,9898	0,9961
Q_c	$\frac{0,0218}{0,1673}$	0,0216	0,0070	0,0109	0,0102	0,0039
T_0 , рік	$\frac{226}{27}$	229	707	454	489	967

При аналізі таблиці 4.3 отримаємо гістограму (рис. 4.10) ймовірності відмови для різних схемних рішень. Видно, що найбільшою ймовірністю відмови володіє типова схема, при цьому, перехід на сучасне обладнання в тій же схемі скорочує вірогідність відмови майже в 8 разів.

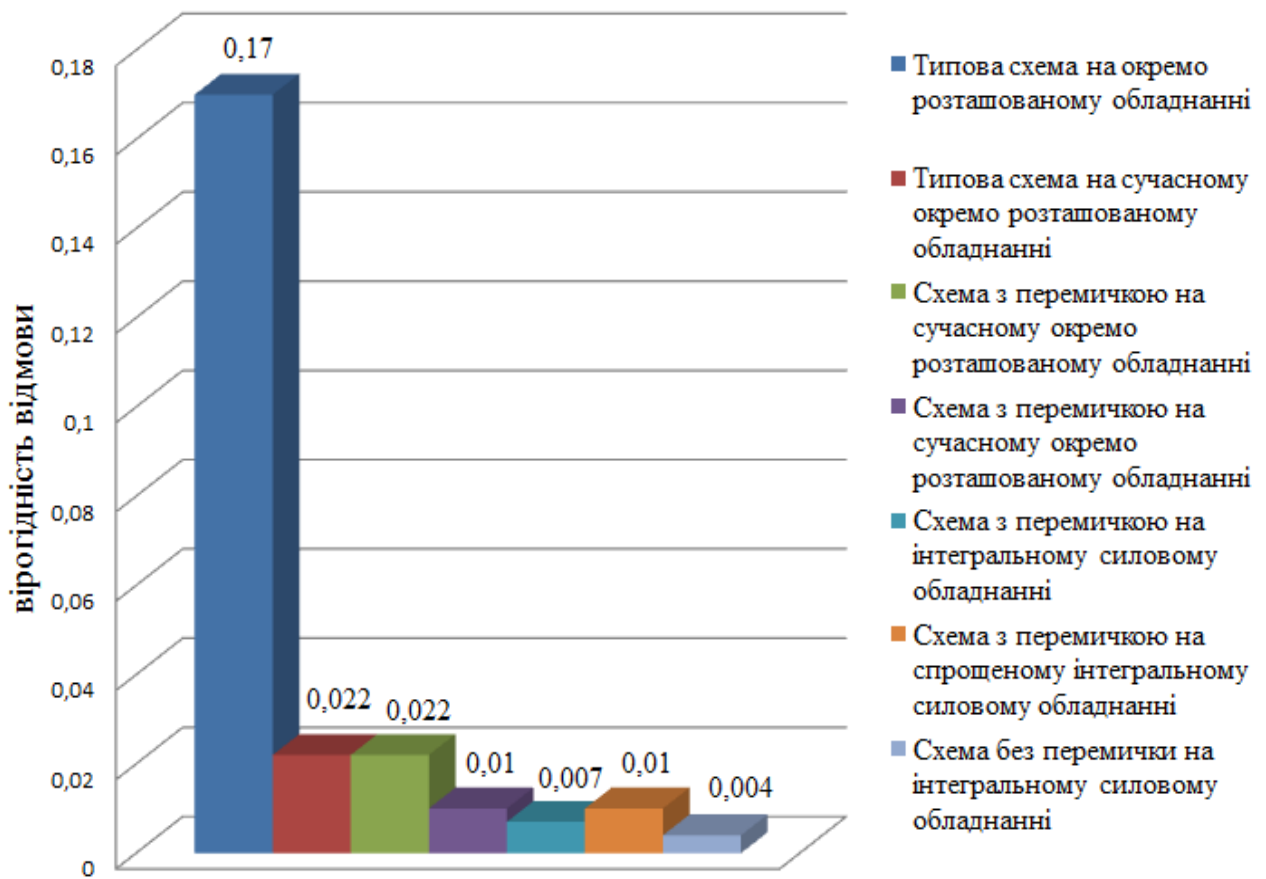


Рисунок 4.10 – Імовірність відмови для різних схемних рішень РП тягових підстанцій

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В магістерській роботі була описана існуюча однолінійна схема тягової підстанції М; проаналізовані переваги сучасного обладнання; проведено оптимізацію однолінійної схеми підстанції; обґрунтовані прийняті рішення.

Проведений аналіз дозволив зробити наступні висновки:

1. Виявлені недоліки існуючої схеми та прийняті рішення по заміні короткозамикача та віддільника на вводі підстанції на елегазовий вимикач та фідерного вимикача старого типу, які встановлені по 2 на фідер на новий ВАБ-206 (один на фідер).
2. Описані та виділені переваги сучасного обладнання. Зокрема детально описано елегазове обладнання.
3. Проведені відповідні розрахунки та описане встановлюване обладнання.
4. Визначена надійність старої та нової схеми. Вірогідність безвідмовної роботи при використанні елегазового вимикача 0,9665. Проаналізовані різні варіанти розрахунків зміни надійності електроспоживання споживачів тягових підстанцій при почерговій заміні обладнання. Визначено, що найбільшу надійність буде мати схема при заміні вимикачів – 0,9644 (для порівняння при установці всього нового обладнання на підстанції – 0,9782).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ	55

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тягові підстанції електрифікованих залізниць: навч. посіб. / Т.І. Друбцецька, А.М. Бойко. Київ: видавець ФОП Піча Ю.В. 2022. – 338 с.
2. Рішення АББ для розподільчих мереж. Каталог. АБВ. Видання-2012. – 108 с
3. Реконструкція підстанцій. Світові тенденції., Ю.М. Бондаренко, В.М. Гомонай: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cigre.org.ua/wp-content/uploads/2021/02/Реконструкція-підстанцій.-Світові-тенденції.pdf>
4. Сухі трансформатори. EcoDry: надефективний трансформатор сухого типу. Скорочує витрати за мінімальної дії на довкілля. Технічна інформація. АБВ. 1LDE000076 rus Видання-2015. - 8 с
6. Надійність і діагностика пристроїв тягового електропостачання: Навч. посібник / В. Г. Кузнецов, О. Г. Галкін, О. В. Єфімов, О. О. Матусевич. - Дніпропетровськ : Маковецкий, 2009. - 248 с. :
7. Каталог. Високовольтний компактний розподільчий пристрій 3AP1 DTC для напруги 145 кВ. Siemens – 8 с.
8. Каталог. PASS M0 Елегазові комірки серії ПАСС M0 для сучасних підстанцій на класи напруги 110 та 150 кВ. АБВ. – 2001. – 18 с.
9. Каталог. Стаціонарні РП з силовими вимикачами, тип 8DA / 8DB до 40,5 кВ, з елегазовою ізоляцією. Siemens – 2010. – 64 с.
10. Кириленко О.В. Математичне моделювання в електроенергетиці: Підручник / О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010 – 608 с.
11. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики/ В.С. Перхач, Вид. 3, прероб. та допов. – Львів: Вища школа, Вид-во при Львов. ун-ті, 1989 - 464 с.
12. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М.. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків: Факт, 2008. - 438 с. ISBN 978-966-637-575-2
13. Експлуатація електроустановок: Навч. посібник / Г.Г. Півняк, А.В. Журахівський, Г.А. Кігель, Б.М. Кінаш, А.Я. Рибалко, Ф.П. Шкрабець, З.М. Бахор: За ред. академіка НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ

Арк.

56

гірничий університет, 2005. – 445 с.

14. Посібник з вивчення Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Електротехнічне устаткування електричних станцій та мереж, оперативно-диспетчерське керування / Баженов О.Г. та інші. – К.: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2004. – 800 с.

15. Каталог. PASS M0 Елегазові комірки серії ПАС M0 для сучасних підстанцій на класи напруги 110 та 150 кВ. АББ. - 2001. - 18 с.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2221.KPM.20223.ПЗ				57