

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Модернізація схемних рішень розподільчого пристрою
живлячої напруги транзитних трансформаторних підстанцій

Виконав: студент 2 курсу,

групи 8.1412

спеціальності

141 Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Дубок В.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Друбецька Т.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф., Артемчук В.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


Запоріжжя

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра _____ електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) рівень _____
Спеціальність _____ 141 електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко
« _____ » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____ Дубок Валентину Віталійовичу _____

1. Тема роботи: Модернізація схемних рішень розподільчого пристрою живлячої напруги транзитних трансформаторних підстанцій

Керівник роботи: _____ Друбецька Т.І. _____

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с _____

2. Строк подання студентом роботи: 01 грудня 2023 року _____

3. Вихідні дані до роботи: існуючі схеми транзитних трансформаторних підстанцій.

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

4.1 Існуючі схемні рішення для транзитних трансформаторних підстанцій.

4.2 Методи розрахунку показників надійності.

4.3 Дослідження нових схемних рішень розподільних пристроїв живлячої напруги для транзитних трансформаторних підстанцій.

4.4 Аналіз показників надійності для запропонованих схемних рішень. Вибір оптимальної схеми

5. Перелік графічного матеріалу:



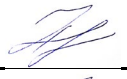





5.1. Однолінійна схема транзитної трансформаторної підстанції з робочою перемичкою зі сторони лінії

5.2. Однолінійна схема транзитної трансформаторної підстанції з робочою перемичкою зі сторони трансформаторів

5.3. Запропоновані нові однолінійні схеми

5.4. Вибрана однолінійна схема

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Друбецька Т.І., доцент		
Розділ 2	Друбецька Т.І., доцент		
Розділ 3	Друбецька Т.І., доцент		
Розділ 4	Друбецька Т.І., доцент		

7. Дата видачі завдання

01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Існуючі схемні рішення для транзитних трансформаторних підстанцій	01.10.2023	
2	Методи розрахунку показників надійності	01.11.2023	
3	Дослідження нових схемних рішень розподільних пристроїв живлячої напруги для транзитних трансформаторних підстанцій	15.11.2023	
4	Аналіз показників надійності для запропонованих схемних рішень. Вибір оптимальної схеми	01.12.2023	

Студент



(підпис)

Дубок В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник дипломної роботи



(підпис)

Друбецька Т.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер



(підпис)

Бандуренко І.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У даній роботі вирішені наступні завдання: вивчені існуючі схемні рішення для транзитних трансформаторних підстанцій; проведений аналіз методів розрахунку показників надійності; досліджені нові схемні рішення розподільчих пристроїв живлячої напруги для транзитних трансформаторних підстанцій; проведений аналіз показників надійності для запропонованих схемних рішень та вибрана оптимальна схема.

Ключові слова: ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ; РОЗПОДІЛЬЧИЙ ПРИСТРІЙ; ТРАНЗИТНА ПІДСТАНЦІЯ; ЖИВЛЯЧА НАПРУГА; СХЕМА ЖИВЛЕННЯ; НАДІЙНІСТЬ; СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ.

ANNOTATION

The following tasks are solved in this work: the existing schematic solutions for transit transformer substations are studied; an analysis of methods for calculating reliability indicators was carried out; new circuit solutions of distribution devices of supply voltage for transit transformer substations were investigated; an analysis of the reliability indicators for the proposed scheme solutions was carried out and the optimal scheme was selected.

Keywords: TRANSFORMER SUBSTATION; DISTRIBUTION DEVICE; TRANSIT SUBSTATION; SUPPLY VOLTAGE; SUPPLY SCHEME; RELIABILITY; MODERN EQUIPMENT.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ІСНУЮЧІ СХЕМНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ТРАНЗИТНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ	9
1.1 Загальні відомості	9
1.2 Однолінійні схеми транзитних трансформаторних підстанцій	11
1.3 Сучасні тенденції в будівництві трансформаторних підстанцій	15
2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ	33
2.1 Основні задачі теорії надійності	33
2.2 Характеристики та показники надійності електроенергетичного обладнання	36
2.3 Методи розрахунку надійності електротехнічних установок	43
2.4 Підвищення надійності трансформаторних підстанцій	47
3 ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ТРАНЗИТНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ	50
4 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ	58
4.1 Визначення ступеню зміни надійності при заміні обладнання в транзитних трансформаторних підстанцій	58
4.2 Вибір оптимальної схеми	60
ВИСНОВОК.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67

ВСТУП

Трансформаторні підстанції – одна з основних частин енергетичної системи. При виробництві електроенергії, безпосередньо біля електростанції встановлюється підвищувальна підстанція, яка підвищує напругу для передачі її на велику відстань. Далі, біля споживача встановлюється знижувальна підстанція, яка вже знижує рівень напруги до необхідного споживачу.

Трансформаторна підстанція перетворює не тільки напругу, також можливі перетворення за родом струму та частотою.

Схемні рішення підстанцій, які існують на сьогоднішній день бкли розроблені, у більшій частині, ще у 70 – 80 ті роки ХХ століття (масляні вимикачі, роз'єднувачі РНДз, розрядники та подібне обладнання).

В кінці 90-х років як в Україні, так і в ряді закордонних країн був освоєний випуск високонадійного електротехнічного обладнання. Це вакуумні (для середнього рівня напруги) і елегазові (для високого рівня напруги) вимикачі, більш досконалі типи роз'єднувачів, сучасні обмежувачі перенапруги не мають обмежень по числу спрацьовувань та багато іншого.

Високий відсоток розвитку та початок впровадження отримало обладнання контейнерно – модульного типу, елегазове обладнання. Широко використовується інтегральне силове обладнання, що містить в одному корпусі декілька комутаційних і вимірювальних апаратів.

Наприклад елегазові комірки PASS виробництва АВВ.

Застосування сучасного обладнання в РП дозволить значно збільшити надійність роботи як розподільчих пристроїв, так і самої підстанції вцілому.

Однак ціна цих пристроїв та таких підстанцій висока. Тому встановлення перерахованих вище пристроїв в існуючих схемах розподільчих пристроїв призведе до значного підвищення вартості ТП, що може стати перешкодою на шляху впровадження нової техніки.

Отже, впровадження високонадійного сучасного обладнання повинно бути проведено сумісно з техніко-економічним розрахунком пропонованих схемних рішень..

1 ІСНУЮЧІ СХЕМНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ТРАНЗИТНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

1.1 Загальні відомості

Живлення трансформаторних підстанцій здійснюється від енергосистеми. Трансформаторні підстанції змінного струму живляться від мереж 110, 150, 220 кВ. Трансформаторні підстанції постійного струму живляться від мереж 10, 35, 110, 150, 220 кВ [1].

Схема зовнішнього електропостачання повинна забезпечувати живлення підстанцій (крім розташованих на слабозавантажених ділянках) від енергосистеми на умовах, передбачених для споживачів з електроприймачами I категорії, щоб вихід з роботи однієї з підстанцій (секції шин) енергосистеми або лінії живлення не призводив до відключення підстанції. З цією метою підстанції повинні мати, як правило, двостороннє живлення від двох підстанцій енергосистеми або по двох радіальних лініях від різних систем шин однієї підстанції енергосистеми, що має не менше двох джерел живлення. За допомогою дволанцюгової тупикової повітряної лінії електропередачі (ПЛ) допускається живлення не більше однієї підстанції [2-4].

У разі двостороннього живлення підстанцій по одноланцюговій ПЛ кількість проміжних підстанцій, що включаються в розсітку ПЛ між опорними підстанціями за схемою рис.1.1, як правило, не повинна перевищувати трьох. Приєднання підстанцій до одноланцюгової ПЛ на відгалуженнях (відпайках) не допускається.

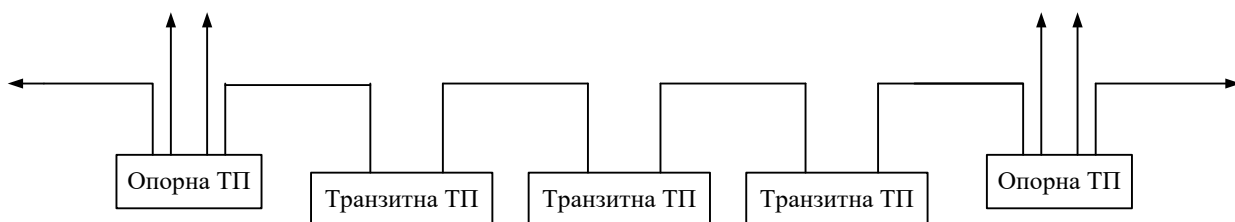


Рисунок 1.1 – Схема живлення підстанцій по одноланцюгових ПЛ

Від дволанцюгової ПЛ (за умови підвищення обох ліній на загальних опорах) з двостороннім живленням на ділянці між двома опорними підстанціями рекомендується живлення не більше такої кількості проміжних підстанцій, що приєднуються за схемою рис. 1.2:

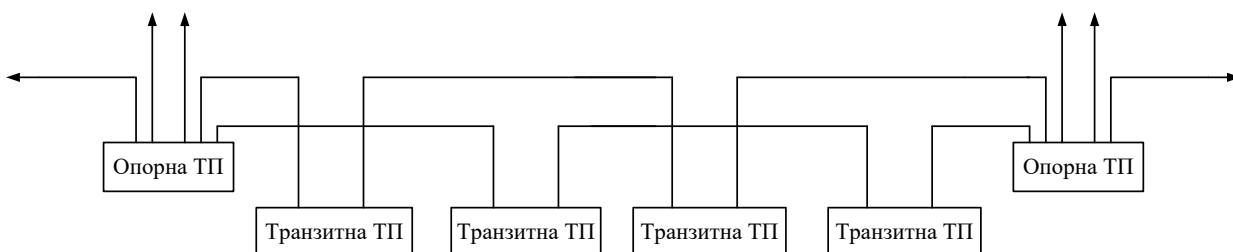
- для ПЛ 220 кВ – не більше п'яти при електрифікації тяги як на постійному, так і на змінному струмі;

- для ПЛ 110 кВ – не більше п'яти при електрифікації тяги на постійному і не більше трьох – на змінному струмі.

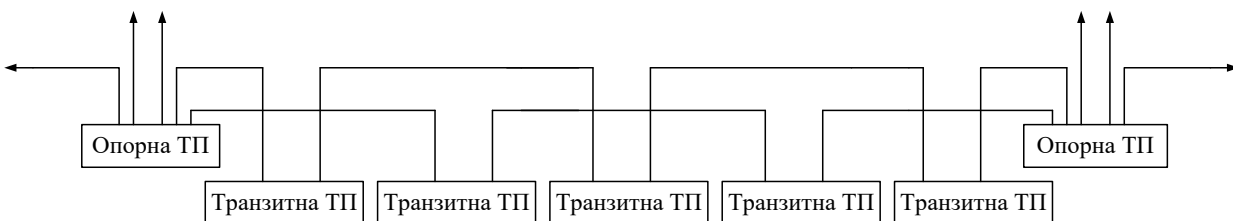
а



б



в



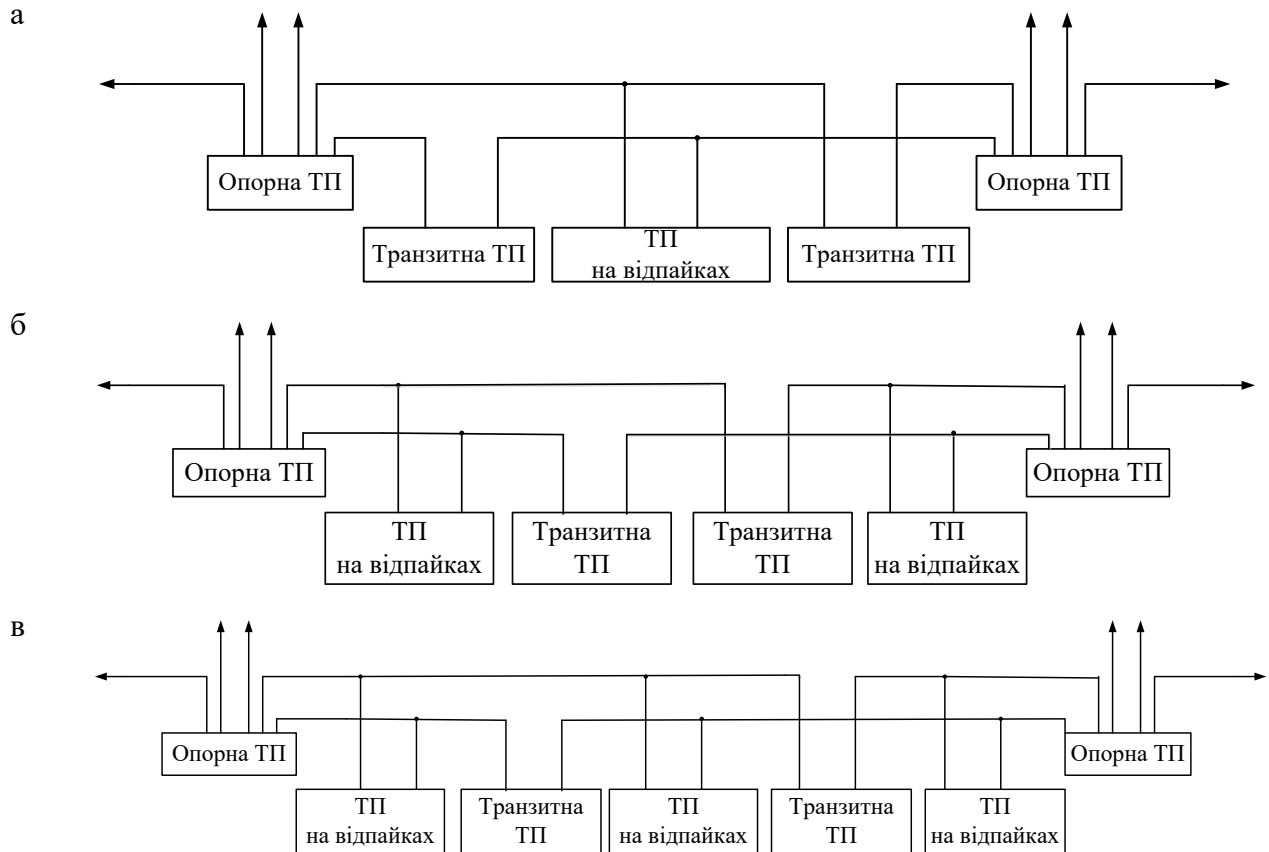
а – для ПЛ 110 кВ на змінному струмі; б, в – для ПЛ 220 кВ як на постійному, так і на змінному струмі та ПЛ 110 кВ на постійному струмі

Рисунок 1.2 – Схеми живлення підстанцій по дволанцюгових ПЛ на загальних опорах

Від двох одноланцюгових ПЛ з двостороннім живленням на ділянці між опорними підстанціями рекомендується живлення такої кількості проміжних підстанцій, що приєднуються за схемою рис.1.3:

- для ПЛ 220 кВ – не більше п'яти при електрифікації тяги як на постійному, так і на змінному струмі;

- для ПЛ 110 кВ – не більше п'яти при електрифікації тяги на постійному і не більше трьох – на змінному струмі.



а – для ПЛ 110 кВ на змінному струмі; *б, в* – для ПЛ 220 кВ як на постійному, так і на змінному струмі та ПЛ 110 кВ на постійному струмі

Рисунок 1.3 – Схема живлення підстанцій по двох одноланцюгових ПЛ

На слабозавантажених ділянках допускається забезпечення надійності живлення підстанцій як споживачів з електроприймачами II категорії: одностороннє живлення підстанцій, живлення підстанцій від однієї секціонованої лінії електропередач за умови підключення суміжних підстанцій до різних секцій лінії, підключення підстанцій до живильної лінії електропередачі відпайкою за допомогою одного вводу з вимикачем.

Тип і кількість проміжних підстанцій між опорними, зокрема й у разі будівництва додаткових підстанцій, повинні бути узгоджені з енергопостачальними організаціями.

1.2 Однолінійні схеми транзитних тягових підстанцій

Однолінійна схема РП 110 кВ транзитної підстанції представлена на рис. 1.4 [1].

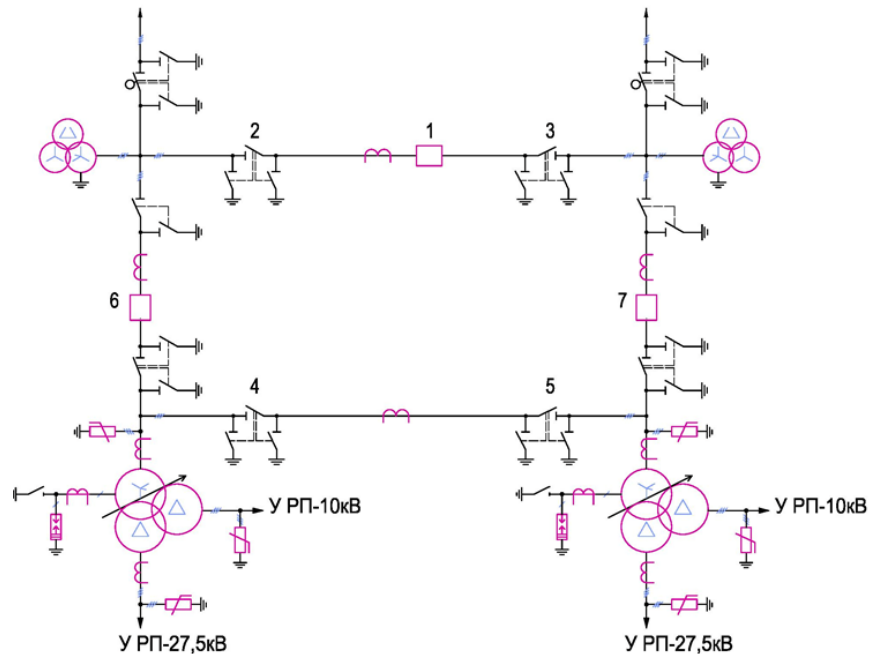


Рисунок 1.4 – Однолінійна схема РП 110 кВ транзитної підстанції

Повітряна лінія від якої отримує живлення підстанція секціонується вимикачем 1 з вбудованими трансформаторами струму, огороженими роз'єднувачами. Вимикач 1 та роз'єднувачі 2, 3 нормально ввімкнені та утворюють робочу перемичку, по якій здійснюється транзит (передача потужності) з однієї ділянки ПЛ на іншу. Щоб не переривати подачу потужності при ревізії чи ремонті вимикача 1, робоча перемичка шунтована ремонтною перемичкою, утвореною двома роз'єднувачами 4, 5 з заземлюючими ножами і ділянкою шин з трансформаторами струму.

В наслідок високої надійності трансформаторів напруги ніяких захисних комутаційних апаратів в їх коло не ставиться.

При к. з. в точці к1 (рис. 1.5) [1] відключаються вимикачі В1, В2 та В3 щоб виключити протікання струму в точку К1 від усіх сторін. Роз'єднувачі вводів з

моторними приводами необхідні для відключення по телеуправлінню ушкодженої ділянки після відключення вимикача В2.

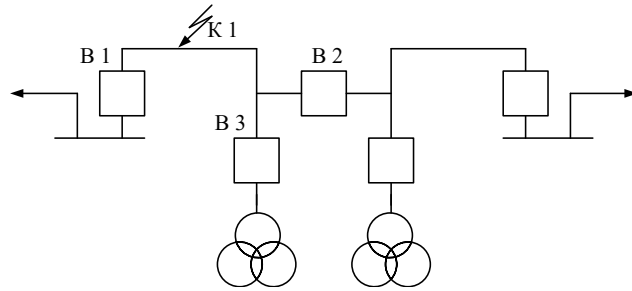


Рисунок 1.5– Відключення к. з. на транзитній підстанції

Схеми РП 110 кВ (рис. 1.6, 1.7) виконані на блоках 110 кВ виробництва ВАТ «Рівенський завод високовольтної апаратури» [1].

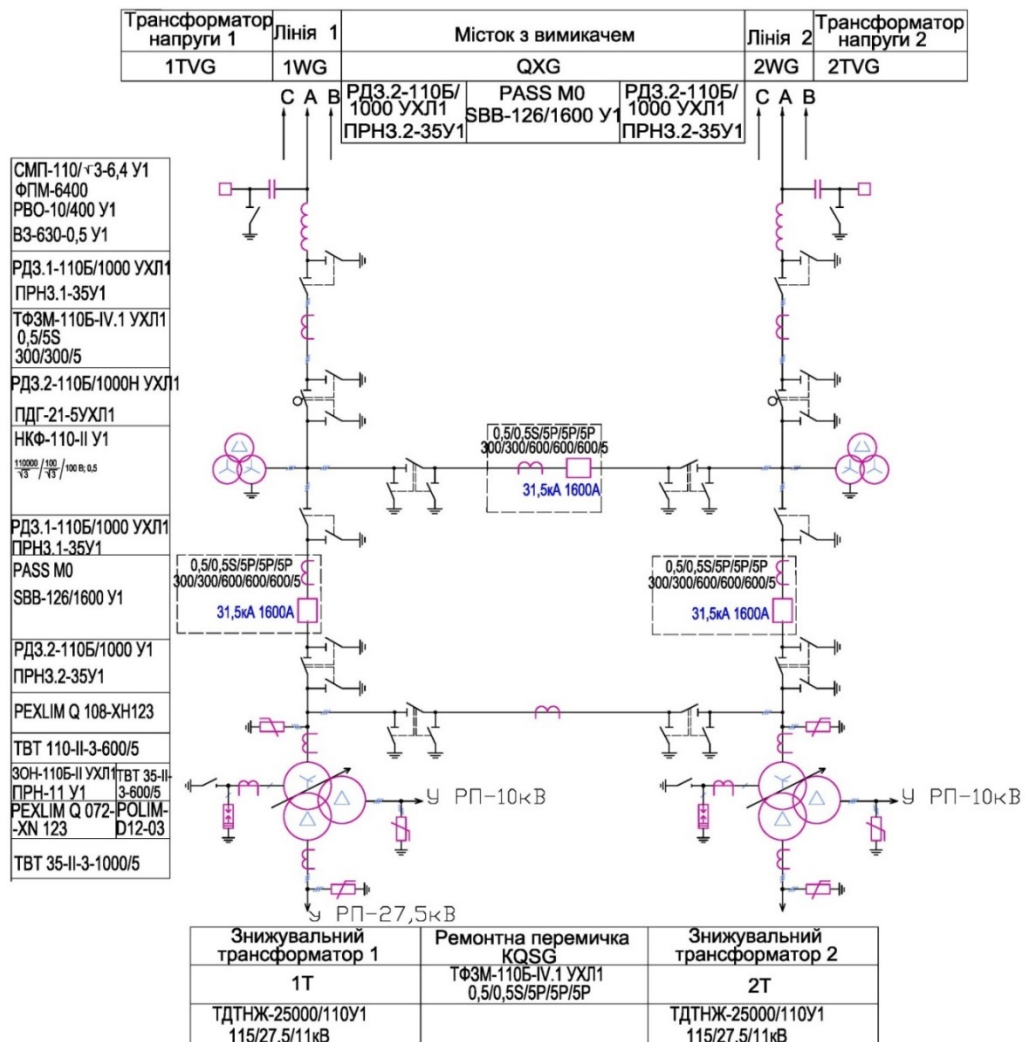


Рисунок 1.6 – Однолінійна схема РП 110 кВ транзитної підстанції місток з вимикачами в колі трансформаторів та ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів

Також застосовується схема місток з ремонтною перемичкою зі сторони лінії (рис. 1.7). В такому випадку втрачається секціонування лінії при переводі на ремонтну перемичку.

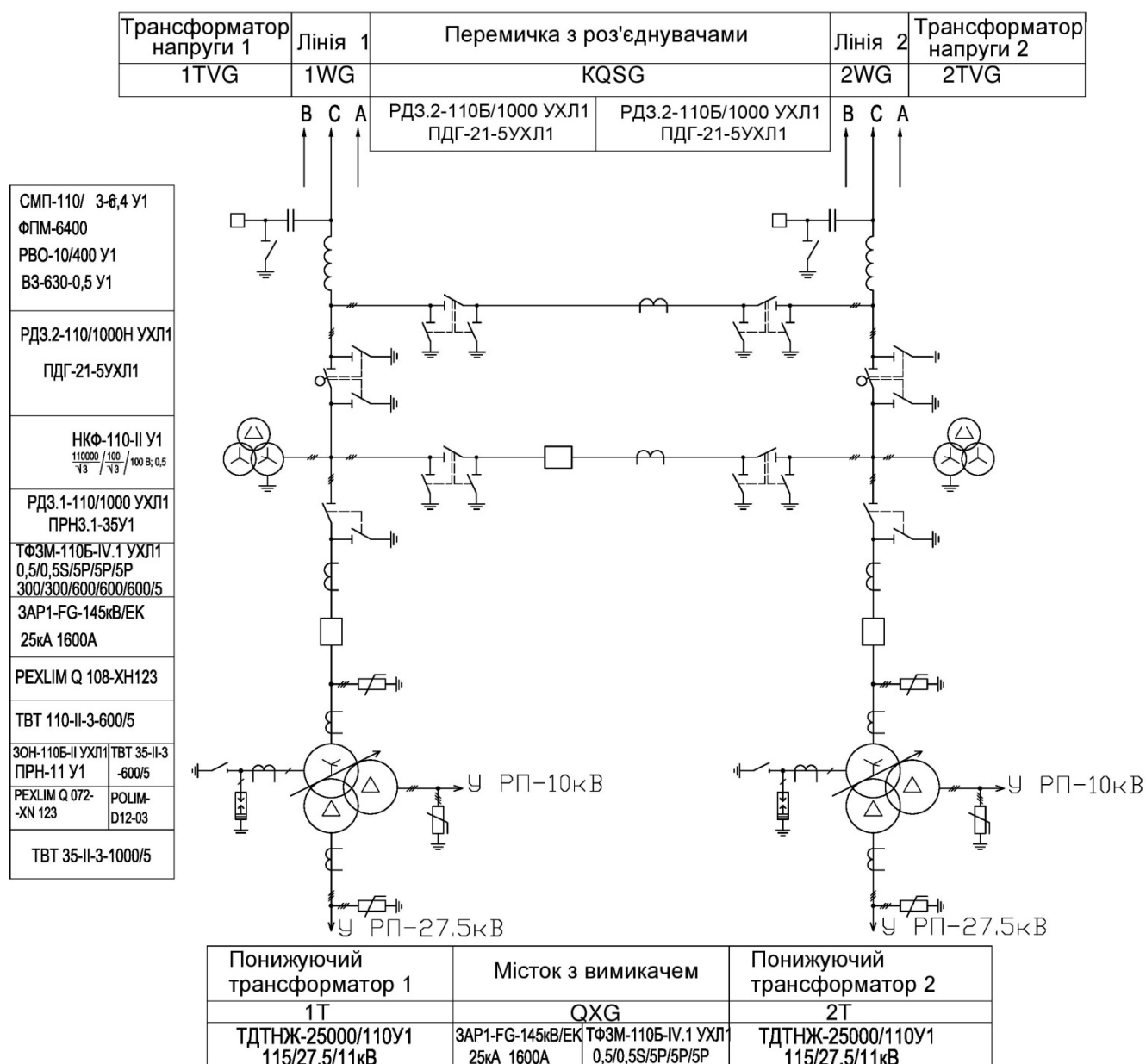


Рисунок 1.7 – Однолінійна схема РП 110 кВ транзитної підстанції місток з вимикачами в колі трансформаторів та ремонтною перемичкою зі сторони лінії

Схеми «місток з вимикачами в колах трансформаторів і ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів» та «два блоки з вимикачами та неавтоматичною перемичкою зі сторони лінії» застосовуються при одиничній

потужності знижувальних трансформаторів до 63 МВА включно в будь-яких кліматичних умовах та в районах з підвищеною сейсмічністю.

На рис. 1.8 представлений приклад виконання комплектного розподільчого пристрою з елегазовою ізоляцією (КРПЕ) 150 кВ типу 8DN8 виробництва «Siemens». ТП постійного струму, транзитна.

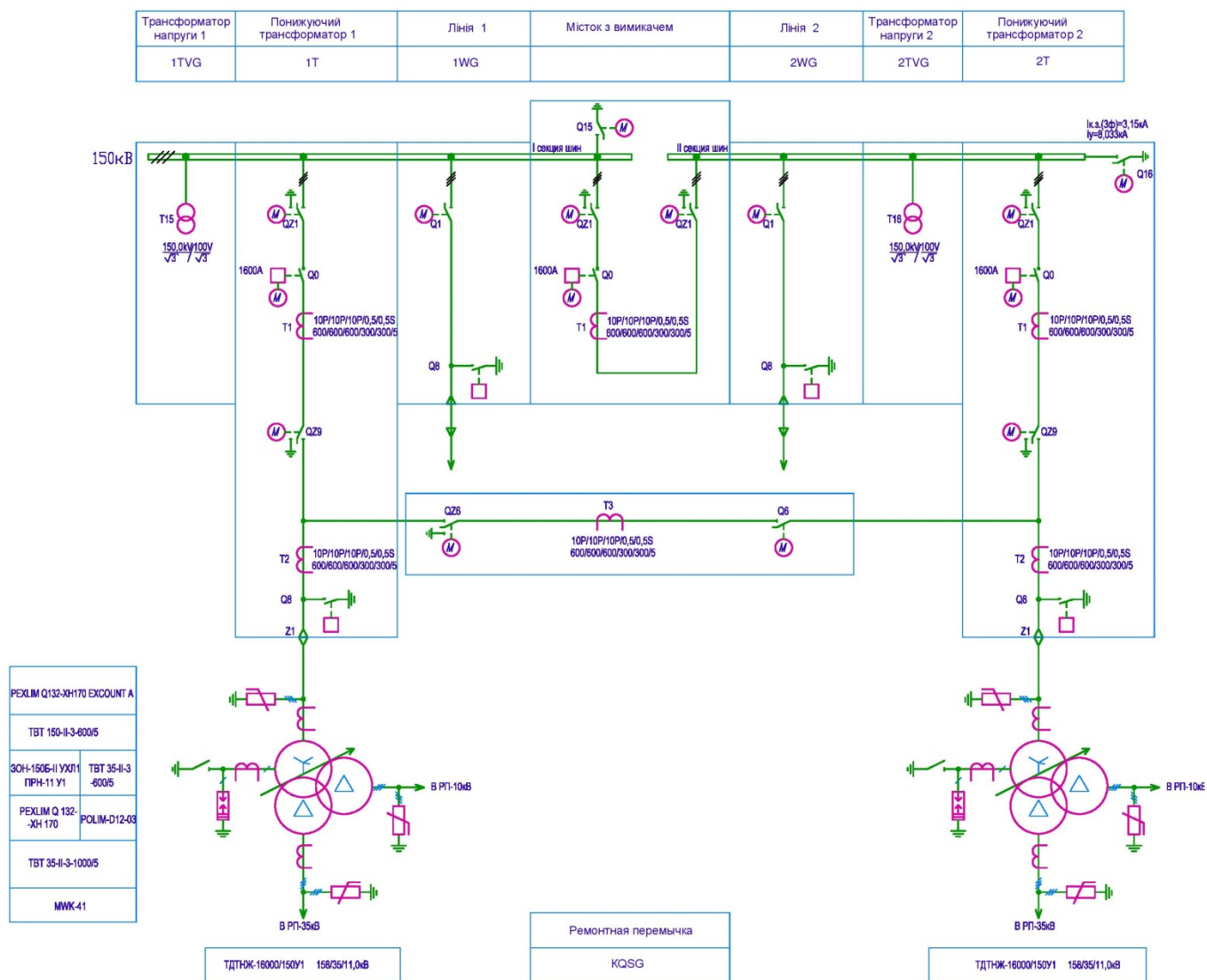


Рисунок 1.8 – КРПЕ-150 кВ. ТП постійного струму, транзитна

1.3 Сучасні тенденції в будівництві підстанцій

Один з напрямів удосконалення господарства електропостачання – підстанції нового покоління для живлення різних систем електричної тяги. На

сьогоднішній день розроблені та продовжують вдосконалюватися нові концепції спорудження і монтажу підстанцій.

Існуючі на даний момент технології припускали наступний цикл спорудження підстанцій: відвід території під відкриту та закриту 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 частини, монтаж електрообладнання на об'єкті, наладку та приймально-здавальні випробування, здачу об'єкта в експлуатацію.

Така технологія мала наступні недоліки:

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 підстанцій застосовується комплектно-блочна технологія, яка дозволяє в значній степені подолати існуючі проблеми. Сутність такої технології закладається в тому, що на одному конкретному підприємстві проводиться дослідження та конструювання, проектування, виробництво, монтаж, наладка, сервісне та гарантійне обслуговування, тобто повний цикл. В основу такої технології покладена ідея створення не обслуговуваної підстанції без постійно присутнього персоналу, яка побудована на наступних принципах:

- застосування при будівництві нових і реконструкції діючих підстанцій обладнання з високою ступінню надійності, що не потребує постійної присутності персоналу та ТО якого мінімальне;
- використання засобів автоматизації та функціональної діагностики обладнання підстанції, що, в свою чергу, дозволить перейти від обслуговування за регламентом до обслуговування за фактичним станом.

При будівництві підстанції необхідно забезпечити:

- сильне збільшення техніко-експлуатаційних, енергетичних та техніко-економічних показників експлуатації ТП;
- зменшення витрат на спорудження або реконструкцію ТП;
- забезпечення усіх вимог екологічності такої підстанції;
- електробезпека.

На виході реалізації такого проекту очікується не просто розробка нового комплексу обладнання для ТП, але і впровадження нових технологій будівництва та реконструкції, що охоплюють наступні етапи:

- автоматизацію проектування системи електропостачання;
- виготовлення та налаштування обладнання в межах сучасного виробництва, монтаж на місці експлуатації та мінімізація ТО при безпосередній експлуатації.

Для реалізації перерахованих цілей необхідно вирішити наступні основні технічні задачі (рис. 1.9)

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 розвинутою інфраструктурою.

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

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

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

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

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

Рисунок 1.9 – Основні технічні задачі для реалізації сучасних ТП

Вирішення поставлених задач дозволить:

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

Світовий досвід показує, що складовими реалізації малолюдної технології являються:

1. Впровадження систем 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 ТО 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.

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. 1.19), 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.



Рисунок 1.9 – Комплектування сучасних підстанцій

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

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

- готові блоки повинні поставлятися на площадку монтажу ТП в повністю зібраному вигляді, збірка повинна складатися з монтажу зовнішніх ошиновок (кабельних приєднань), ;
- готові блоки можуть монтуватися як в окремих модулях, так і в капітальних будівлях. Все залежить від наявної ситуації та вимог замовника на будівництво підстанції.

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

Гексафторид сірки (елегаз або шестифториста сірка, SF₆) – безбарвний, негорючий і нетоксичний газ, який використовується в якості газобалонного діелектрика в високовольтній апаратурі і володіє кращими, порівняно з повітрям, дугогасними властивостями. Вперше використання гексафториду сірки (елегазу) в комутаційних апаратах було запропоновано в СРСР, але, як і багато інших винаходи, не отримало практичної реалізації в країні на той час. Експлуатація елегазових комутаційних апаратів завжди викликала запеклі суперечки через наявність в рівній мірі, як переваг, так і недоліків.

Недоліки елегазу:

1. Одним з недоліків використання елегазу є небезпека для обслуговуючого персоналу і навколишнього середовища отриманих, в результаті електрохімічної реакції, речовин. Дійсно, внаслідок виникнення електричної дуги в обсязі, заповненому гексафторидом сірки, утворюються такі речовини, як нижчі фториди і сполуки сірки, а так само, за певних умов – наявність хоча б малої кількості вологи, велика ймовірність поява плавикової кислоти і агресивних сполук фтороводороду. Фізично, це можна відчувати відразу ж після розходження полюса вимикача після комутації, за наявністю в повітрі специфічного сірчаного запаху. На практиці, для нейтралізації цього негативного фактора, використовуються повністю герметичні елегазові комутаційні апарати з встановленими всередині фільтрами – адсорберами, які активно поглинають вологу і продукти розкладання газу. Тверді продукти розкладання при цьому осідають на дні самого комутаційного апарату. Щоб уникнути різних негативних наслідків, демонтаж, ремонт або утилізація елегазового апарату повинні проводитися навченим персоналом, із застосуванням спеціальних технологій та відповідного обладнання.

2. Наступною небезпекою при використанні гексафториду сірки є плинність цього газу. Незважаючи на те, що елегаз, дійсно, настільки текучий, що просочується не тільки через роз'ємні ущільнювачі а й просто через метал оболонки, на практиці, обсяг речовини що випарувалася мізерно малий. Наприклад, при використанні елегазу в КРПЕ, тиск усередині яких відповідає 5-7 атмосферам, нормативне значення річного витoku газу не повинно перевищувати

0,5 - 1%. Практичні виміри реальних значень цього показника говорять про те, що це число набагато менше необхідного нормами експлуатації. Разом з тим, комутаційні апарати конструктивно виготовляють таким чином, що б було можливим здійснювати відключення електроживлення при зниженому тиску і виконувати комутацію робочих струмів при нульовому надмірному тиску. Щоб обов'язково підтверджується випробуваннями готової продукції. У середині обсягу КРПЕ або комутаційного апарату так само перевіряють електричну міцність пристрою, при виготовленні використовують сучасні ущільнювачі, які не схильні до деформаціями і стійкі до впливу продуктів розкладання гексафториду. Так само необхідно врахувати, що в моноблоках, використовуваних при середніх значеннях напруг, відсутні роз'ємні з'єднання.

3. Ще одним недоліком використання елегазових комутаційних апаратів є їх підвищена вибухонебезпечність. Така ситуація можлива через те, що при появі короткого замикання «на корпус» можливе виникнення стійкої дуги, що призводить до стрибкоподібного підвищення тиску всередині апарату. Один з багатьох механізмів захисту від цього явища – обов'язкове оснащення апаратів КРПЕ клапанами для скидання надлишкового тиску. Практично, рівень вибухонебезпечності сучасних елегазових комутаційних апаратів не вище рівня вибухонебезпечності кухонної сковарки.

4. При використанні елегазу, необхідно враховувати той факт, що при зниженні температури частина його переходить в рідкий стан і знижується тиск всередині апарату. Як було описано вище, дані фізико-хімічні властивості газу враховуються виробниками в процесі виготовлення комутаційних апаратів при забезпеченні їх електричної міцності. А для забезпечення дугогасящей здатності, при експлуатації в умовах ХЛП, застосовують суміш елегазу з азотом або просто нагрівають сам апарат. Крім того, передбачається, що КРПЕ встановлюються в опалювальних приміщеннях.

5. Недоліком можна вважати той факт, що при значеннях 0,62 - 0,68 Іном. виникає такий режим роботи комутатора, внаслідок якого можлива відмова

вимикача. Останнім часом виробниками обладнання ретельно досліджується дана проблема, і всі екземпляри проходять обов'язкову перевірку.

Переваги:

1. Головною перевагою у використанні гексафториду сірки є його дугогасильна здатність, яка в кілька разів більше ніж у повітря. Процес гасіння електричної дуги в елегазі більш тривалий і плавний. Особливість процесу полягає в тому, що при «близьконульових» значеннях струму підтримується стрижень дуги і обривається саме в останній момент переходу через нуль.

2. Компактність, невеликі габаритні розміри.

3. 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.

4. Незалежність від зовнішнього середовища, відсутність технічного обслуговування

Вартість і складність елегазових апаратів різна (рис. 1.20).

Модуль укомплектований пристроями для освітлення, підігріву та вентиляції, забезпечує необхідні умови для роботи встановленого пристрою. Високовольтний пристрій розміщено з коридором обслуговування, в якому розміщуються рукоятки управління роз'єднувачами, шафи управління і захисту приєднань розподільного пристрою.

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 різноманітний вибір обладнання розподільчих пристроїв 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.

а)



б)



в)



г)



а, б – шини; в, г – модулі;

Рисунок 1.20 – Комплектний розподільний пристрій з елегазовою ізоляцією

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

На базі сучасних методів з застосуванням комплектуючих виробів різних фірм ВАТ «РЗВА» виробляє високоякісні, якісні, економічні електричні апарати на рівні напругу від 6 до 110 кВ.

Відкриті розподільчі пристрої (ВРП) 110, 35, 27,5 кВ «РЗВА» виконане з ідентичних для всієї електричної мережі схем блоків повного заводського виготовлення, до складу яких входять металеві опорні конструкції, на яких

встановлені сучасні апарати на високу напругу, елементи ошиновки, а також елементи допоміжних кіл. Металева конструкція таких блоків забезпечує зручність обслуговування даної апаратури і дозволяє виконувати транспортування пакетами. Дані блоки встановлюються на залізобетонних лежнях або заглиблених фундаментах.

Для відкритих розподільчих пристроїв 110 або 35 кВ застосовуються жорсткі шини алюмінієвого сплаву діаметром 60х3 або 80х3мм і гнучкі шини.

Будова вузлів кріплення жорсткої ошиновки забезпечує компенсацію змін температури їх довжини, можливої неточності при встановленні блоків, також зсув блоків, що можуть виникнути як наслідок деформації ґрунту при 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;
- обмежувачі перенапруги та розрядники ОПН-110, РВС-110, ОПН/ТЕЛ-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 встановлення (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 комплектуюче обладнання у шафах застосовуються:

- у комірках уводів, 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 підстанція постійного та змінного струмів містить РП-6(10) кВ для живлення районних споживачів.

Для комплектації підстанцій пропонуються наступні варіанти КРП -6 (10) кВ для установлювання в будівлях вітчизняні РП – серії КУ-10 з вакуумними силовими вимикачами і КУ-10Ц з вакуумними або елегазовими вимикачами розробки та 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.

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:

Фірма SIEMENS це один з лідерів світового ринку, що займає провідне місце в області електротехніки. З 1997 р на українському ринку працює дочірнє підприємство «Сіменс Україна». Все обладнання, що поставляється, на класи напруги від 6 кВ до 750 кВ ідеально показало та зарекомендувало себе в експлуатаційних умовах підстанцій України.

Комплектний розподільний пристрій (КРП) виробництва SIEMENS є системою ізольованого газу з вакуумним вимикачем, з системою робочої та запасною шин. Кожна з підстанцій має живлячі лінії.

У якості ТВП на сучасних підстанціях використовуються більш надійні сухі трансформатори, встановлені в приміщеннях тягових підстанцій. Власні потреби постійного струму одержують живлення від герметичних акумуляторних батарей нового покоління, які не потребують ніякого обслуговування. Такі акумуляторні батареї потребують підтримки постійної напруги підзаряду з двома зарядно-підзарядними пристроями та розраховані на довгий період роботи. Батареї можуть використовуватися в циклічному режимі, що дозволяє глибокий розряд.

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

Створений компанією ABB T&D елегазовий комплекс PASS MO – результат багаторічних розробок Конструкція таких комірок дозволяє реалізувати повністю всі можливі схеми розподільчих пристроїв.

Модуль PASS дозволяє виконати будь-яку компоновку ТП з ефективним використанням займаної площі. Компактність підстанції гарантується багатим досвідом у області досліджень і розробок, виробництва РП.

Основні характеристики модулю PASS –компактність, модульна конструкція. Така конструкція дозволяє увімкнути ряд функцій у одному модулі:

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

2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

2.1 Огляд літературних джерел

Вибір методів вирішення завдання надійності в енергетиці пов'язаний з наступними особливостями [5]:

- 1) відсутністю можливості натурних випробувань на надійність установок в цілому з причин технічного та економічного характеру;
- 2) відсутністю можливості заводських випробувань на надійність всіх елементів установок з тих же причин;
- 3) неможливістю оцінювати надійність нового обладнання і нових установок за існуючою експлуатаційною статистикою, яка відноситься до установок і обладнання старих типів;
- 4) вимогою в більшості випадків для відповідальних установок впевненого вибору рішень з більшою надійністю;
- 5) необхідністю в разі великих витрат на підвищення надійності економічно обґрунтовувати вибір варіантів;
- 6) обмеженими можливостями «тренування» або обкатки елементів установок в заводських і експлуатаційних умовах;
- 7) необхідністю враховувати вплив на надійність великого числа різних факторів.

Розрахунок надійності установки можна виконати [6]:

- 1) за допомогою основних теорем теорії ймовірностей;
- 2) шляхом складання і рішення системи диференціальних рівнянь, що описують марковський процес переходу установки зі стану в стан;
- 3) шляхом еквівалентних перетворень розрахункової схеми з використанням формул теорії ймовірностей і марковських моделей;
- 4) на основі топологічного аналізу електричної схеми на зв'язність;
- 5) на основі формування логічної функції відмови за допомогою діаграми, званої деревом відмов;

б) шляхом статичного моделювання випадкового процесу переходу установки від стану до стану (метод Монте-Карло).

В основі наведених методик оцінки надійності лежать показники надійності електротехнічного обладнання схем електроустановок, що характеризують кількісну оцінку одного або декількох властивостей, складових обладнання. Основний показник, що характеризує пошкоджуваність електротехнічного обладнання – параметр потоку відмов – використовується при вирішенні щодо різнопланових завдань. До них можна віднести:

- 1) вдосконалення конструкцій електротехнічного обладнання;
- 2) планування їх ремонтно-експлуатаційного обслуговування;
- 3) обґрунтування і вибір структурних схем і схем електричних з'єднань електроустановок.

Аналіз показує, що практично ні в одному з джерел не наводяться розрахункові умови, при яких отримано шуканий параметр. Тому не представляється можливим співвіднести значення параметра потоку відмов вимикача. Даний параметр має багатокомпонентну багатofакторну структуру і це необхідно брати до уваги при проектуванні та експлуатації електроустановок. Огляд і порівняння статичних даних по відмовах показує, що діапазон змін параметра потоку відмов в деяких випадках досягає більше одного порядку.

Показники надійності обладнання використовуються з 30-их років минулого століття. На першому етапі вони враховувалися укрупнено і лише при виборі резервних генеруючих агрегатів. Публікації по надійності схем комутації з'явилися значно пізніше.

При аналізі видів ушкоджень (рис. 2.2, 2.3) можна відзначити, що далеко не всі відмови комутаційного обладнання призводять до відключення суміжних елементів.

В подальшому вони ідентифіковані як відмови двох типів:

- 1) відмови типу «Розрив» або «Обрив»;
- 2) відмови типу «Коротке Замикання (КЗ)» («КЗ в одну (кожну) сторону», «КЗ в обидві сторони») або «відключення суміжних елементів».

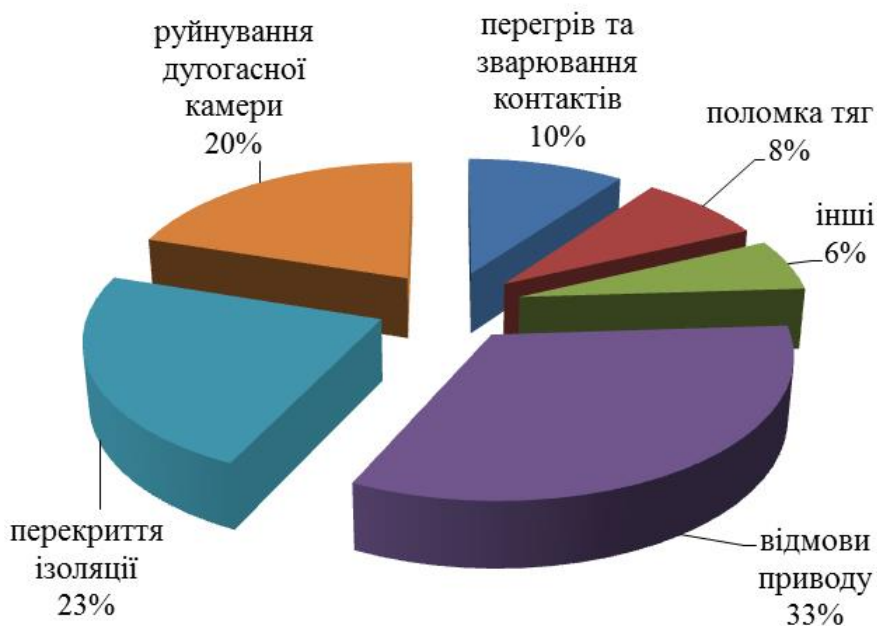


Рисунок 2.1 – Діаграма причин відмов масляних вимикачів



Рисунок 2.2 – Діаграма причин відмов роз'єднувачів

Тут під відмовою типу «Обрив» маються на увазі відмови, що вимагають виведення комутаційного апарату в позаплановий ремонт, тобто призводять до розриву кола, в якому знаходиться комутаційний апарат, що відмовив без порушення технологічного процесу (рис. 2.3).

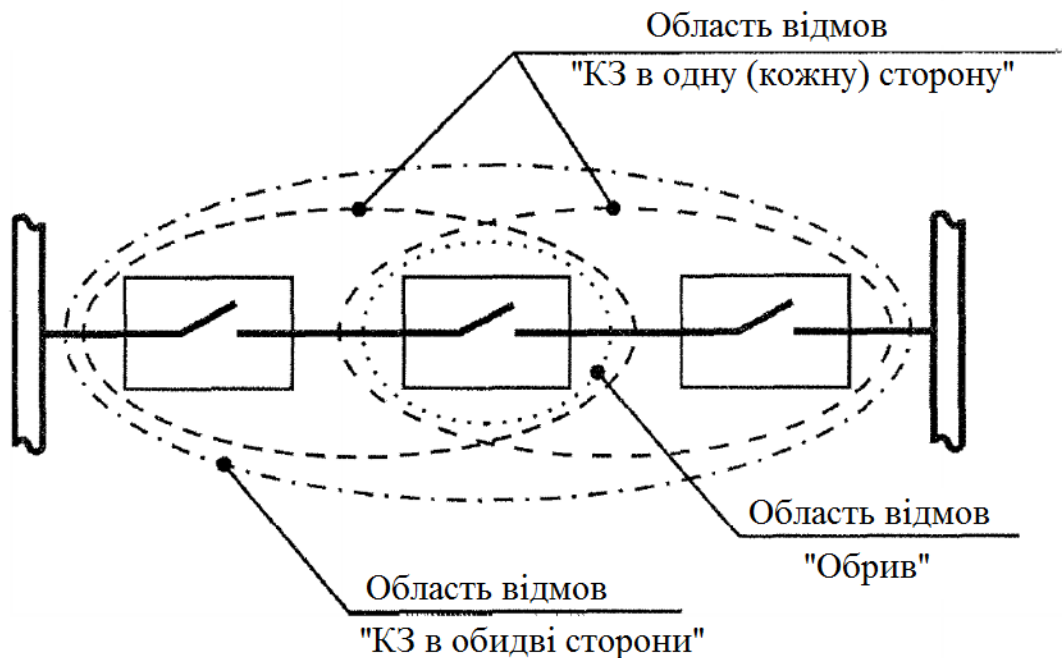


Рисунок 2.3 – Діаграма різних типів відмов за наслідками

Відмова типу «КЗ в одну сторону» супроводжується відключенням, як самого апарату, що відмовив, так і всіх комутаційних апаратів з одного боку від нього. При відмові типу «КЗ в обидві сторони» відключаються всі комутаційні апарати по обидві сторони від апарату, що відмовив.

Аналогічні підходи є і за кордоном. До уваги приймаються два види відмов: типу «КЗ»; типу «Обрив» або помилкове відключення вимикача (через неправильні дії релейного захисту та автоматики (РЗА) або приводу). Таким чином, в порівнянні з аналогічною моделлю відмови враховується вплив пристроїв РЗА на надійність вимикачів.

2.2 Методики визначення показників надійності

Аналітичний розрахунок надійності електропостачання на основі імовірнісних моделей.

Для визначення показників надійності електропостачання споживача в будь-якій мережі необхідно скласти розрахункову схему в сенсі надійності для елементів електроустановок цієї мережі, звану структурною схемою надійності.

Ця схема повинна відображати логіку зав'язків елементів з точки зору перерви або обмеження електропостачання. При використанні логіко-імовірнісних методів розрахункова схема записується в символах алгебри логіки як умова працездатності або відмови.

Якщо схема складається з ряду послідовних і паралельних елементів, аналітичний розрахунок показників надійності може бути виконаний шляхом послідовного еквівалентування, тобто заміни паралельних і послідовних кіл еквівалентними елементами.

Аналітичний розрахунок при всій своїй наочності є дуже трудомісткою операцією. Для установок, які в ході експлуатації змінюють схему електричних з'єднань для проведення ремонтних і профілактичних робіт або відповідно до вимог режиму, більш зручною з обчислювальної точки зору є таблично-логічна методика.

Таблично-логічна методика розроблена Ю. Б. Гуком на основі методик наведених в [9] і табличного методу В. В. Таривердієва.

Вона дає можливість визначити середні частоти аварій різного виду, середній час відновлення роботи після аварій, зниження об'ємів вироблення електроенергії станцією або недовідпуск енергії споживачам.

Методика дозволяє враховувати інженерний досвід проектувальника, конкретні умови даної станції або підстанції, нестационарність потоку ушкоджень, відмови пристроїв РЗА і розвиток аварій, планові і аварійні ремонти обладнання.

Слід зауважити, що при застосуванні даного методу величина збитку визначається менш точно і менш достовірно.

Марковські процеси.

Випадковий процес, що протікає в системі називається марковським, якщо для будь-якого моменту часу t_0 імовірнісні характеристики процесу в майбутньому залежать тільки від його стану в даний момент t_0 і не залежать від того, коли і як система прийшла в цей стан. При розрахунках зазвичай вводять такі припущення:

1) потоки відмов і відновлень прості, тобто в кожен момент часу може відмовляти або закінчуватися відновлення не більше одного елемента;

2) процес функціонування стаціонарний, тобто інтенсивності переходів між

станами постійні в часі;

3) процес ергодичний, тобто система з будь-якого стану може потрапити в будь-який інший за кінцевий проміжок часу.

При аналізі випадкових процесів з дискретними станами використовують граф станів і переходів.

Перехід системи з одного стану в інший може бути викликаний відмовою, розвитком відмови або відновленням. Кожен стан характеризується ймовірністю знаходження в ньому системи $p_i(t)$ в момент часу t .

При використанні даного методу для складних систем необхідно вирішувати велику систему диференціальних рівнянь, що іноді викликає ускладнення.

Метод статистичного моделювання (метод Монте-Карло).

Метод Монте-Карло як метод розрахунку надійності систем докорінно відрізняється від усіх аналітичних методів.

Застосування методики для вивчення систем передачі електроенергії було запропоновано ще в 1964 р [10].

У той час як у всіх інших методах процес роботи елемента або системи описується за допомогою деякої математичної моделі і необхідні показники надійності обчислюються на основі цієї моделі, в методі Монте-Карло на обчислювальній машині моделюється дійсний хід процесу і, після того як над цим процесом проведені досить тривалі спостереження, робляться оцінки необхідних показників надійності.

Таким чином, в цьому методі моделювання розглядається як послідовність реальних експериментів. В ході цих «експериментів» відбуваються «події», причому відбуваються вони в моменти, які визначаються випадковими процесами з заданими розподілами ймовірностей.

У багатьох випадках переваги методу Монте-Карло, зокрема здатність правильно відобразити в ньому складні взаємозалежності і довільні тимчасові функції розподілу подій, можуть послужити достатньою компенсацією за збільшену витрату машинного часу.

2.3 Структурно-логічний аналіз технічних систем

Вже на ранніх стадіях проектування важливо оцінити надійність об'єкта, виявити найбільш ненадійні вузли і деталі, визначити найбільш ефективні міри підвищення показників надійності. Рішення цих задач можливо після попереднього структурно-логічного аналізу системи.

Більшість технічних об'єктів, у тому числі пристроїв електропостачання залізниць, є складними системами, що складаються з окремих вузлів, деталей, пристроїв контролю, управління і т. д. Технічна система (ТС) – це сукупність технічних пристроїв (елементів), призначених для виконання визначеної функції або функцій. Відповідно елемент – складова частина системи.

Розчленовування ТС на елементи досить умовно і залежить від постановки задачі розрахунку надійності.

Визначаючи структуру ТС, в першу чергу необхідно оцінити вплив кожного елемента та його працездатності на працездатність системи в цілому. Із цієї позиції доцільно розділити всі елементи на чотири групи:

1. Елементи, відмова яких практично не впливає на працездатність системи (наприклад, деформація кожуха, знос пофарбованості поверхні і т. п.).

2. Елементи, працездатність яких за час експлуатації практично не змінюється та їхня імовірність безвідмовної роботи близька одиниці (корпусні деталі, елементи з великим запасом міцності).

3. Елементи, для яких можливо виконувати ремонт або відновлення ресурсу у разі роботи пристрою або під час планового технічного обслуговування.

4. Елементи, відмова яких сама по собі, або в сполученні з відмовами інших елементів приводить до відмови системи.

Для розрахунків параметрів надійності зручно використовувати структурно-логічні схеми надійності ТС, що графічно відображають взаємозв'язок елементів та їх вплив на працездатність системи в цілому. Структурно-логічна схема являє собою сукупність раніше виділених елементів, з'єднаних один з одним

послідовно, паралельно або змішано. Критерієм для визначення виду з'єднання елементів під час побудови схеми є вплив їхньої відмови на працездатність ТС.

Послідовним (з погляду надійності) вважається з'єднання, при якому відмова будь-якого елемента призводить до відмови всієї системи.

Паралельним (з погляду надійності) вважається з'єднання, при якому відмова будь-якого елемента не спричиняє відмову системи, поки не відмовлять усі з'єднані елементи.

Тут простежується аналогія з колом, складеним з провідних елементів (справний елемент пропускає струм, а той, що відмовив, – не пропускає): працездатному стану ТС відповідає можливість протікання струму від входу до виходу кола.

Прикладом послідовного з'єднання елементів структурно-логічної схеми може бути контактна мережа. У ній відмова кожного елемента (контактного проводу, несучого тросу, опори) призводить до відмови контактної мережі в цілому. Прикладом паралельного з'єднання елементів є, наприклад, з'єднання силових трансформаторів на тяговій підстанції.

Однак, не завжди структурна схема надійності аналогічна конструктивній або електричній схемі розташування елементів. Наприклад, підшипники на валу редуктора працюють конструктивно паралельно один з одним, однак вихід з ладу кожного з них призводить до відмови системи. Зазначені елементи з погляду надійності утворюють послідовне з'єднання.

Крім того, на структуру схеми надійності може впливати і вид виникаючих відмов. Наприклад, в електричних системах для підвищення надійності в ряді випадків застосовують паралельне або послідовне з'єднання комутаційних елементів. Відмова таких систем може відбуватися за двох умов: обриві (тобто неможливості замикання кола) і замикання (тобто неможливості розриву з'єднання). У випадку відмови типу «обрив» схема надійності відповідає електричній схемі системи (при «обриві» будь-якого комутатора у разі послідовного з'єднання виникає відмова, при паралельному – усі функції управління буде виконувати справний комутатор). У випадку відмови типу

«замикання» схема надійності протилежна електричній (при паралельному включенні втрається можливість відключення струму, а в послідовному загальна відмова не відбувається).

У цілому, аналіз структурної надійності ТС, як правило, включає такі операції:

1. Аналізуються пристрої і виконувані системою та її складовими частинами функції, а також взаємозв'язок складових частин.
2. Формується зміст поняття «безвідмовної роботи» для даної конкретної системи.
3. Визначаються можливі відмови складових частин і системи, їх причини і можливі наслідки.
4. Оцінюється вплив відмов складових частин системи на її працездатність.
5. Система розділяється на елементи, показники надійності яких відомі.
6. Складається структурно-логічна схема надійності технічної системи, що є моделлю її безвідмовної роботи.
7. Складаються розрахункові вирази для визначення показників надійності ТС із використанням даних надійності її елементів і з урахуванням структурної схеми.

В залежності від поставленої задачі, на підставі результатів розрахунку характеристик надійності ТС формулюються висновки і приймаються рішення про необхідність зміни або доробки елементної бази, резервування окремих елементів або вузлів, профілактичного обслуговування, про номенклатуру і кількість запасних елементів для ремонту і т. д .

Розрахунки структурної надійності систем

Розрахунки показників безвідмовності технічних систем (ТС) звичайно проводяться за припущення, що вся система і будь-який її елемент можуть бути тільки в одному з двох можливих станів – працездатному і непрацездатному, а відмова елементів системи – незалежні події. Стан системи визначається станом елементів та їх сполученням. Тому, теоретично розрахунок безвідмовної роботи будь-якої ТС можливо звести до перебору всіх можливих комбінацій станів

елементів, до визначення імовірності кожного з них і додавання ймовірностей працездатних станів системи.

Такий метод практично універсальний і може використовуватися при розрахунку будь-яких ТС. Однак, у разі великої кількості елементів системи n такий шлях стає нереальним через великий обсяг обчислень (наприклад, при $n=10$ число можливих станів системи складає $2^n = 1024$; при $n=20$ перевищує 10^6 , при $n=30$ – більш 10^9). Тому на практиці використовують більш ефективні та економічні методи розрахунку, не пов'язані з великим обсягом обчислень. Можливість застосування таких методів пов'язана зі структурою ТС.

Системи з послідовним з'єднанням елементів

Системою з послідовним з'єднанням елементів називається система, у якій відмова будь-якого елемента приводить до відмови всієї системи. Таке з'єднання елементів у техніці зустрічається найбільш часто, тому його називають основним з'єднанням.

У системі з послідовним з'єднанням для безвідмовної роботи під час деякого наробітку t необхідно і досить, щоб кожний з її n елементів працював безвідмовно. Вважаючи відмову елементів незалежною, імовірність одночасної безвідмовної роботи n елементів визначається за теоремою множення ймовірностей: імовірність спільної появи незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій

$$P(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n (1 - q_i(t))$$

Відповідно імовірність відмови такої ТС

$$Q = 1 - P = 1 - \prod_{i=1}^n p_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i).$$

Якщо система складається з рівно надійних елементів ($p_i = p$), то

$$P = p_i^n, \quad Q = 1 - (1 - q)^n.$$

Очевидно, що навіть за високої надійності елементів надійність системи у разі послідовного з'єднання тим нижча, чим більше число елементів (наприклад, при $p = 0,95$ і $n = 10$ маємо $P = 0,60$, при $n = 15$ $P = 0,46$, а при $n = 20$ $P = 0,36$). Крім того, оскільки всі співмножники в правій частині виразу не перевищують одиниці, імовірність безвідмовної роботи ТС за умови послідовного з'єднання не може бути вище імовірності безвідмовної роботи самого ненадійного з її елементів (принцип «гірше гіршого») і з малонадійних елементів не можна створити надійну ТС із послідовним з'єднанням.

Якщо всі елементи системи працюють у періоді нормальної експлуатації і має місце найпростіший потік відмов, наробіток на відмову елементів і системи підпорядковується експонентному розподілові і тоді можна записати

$$P = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i t) = \exp \left[- \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) t \right] = \exp(-\Lambda t),$$

$$\text{де, } \Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{const}$$

є інтенсивність відмов системи. Таким чином, інтенсивність відмов системи у разі послідовного з'єднання елементів і найпростішого потоку відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов елементів. За допомогою виразів, можуть бути визначені середній і γ – відсотковий наробіток.

Впливає, що для системи з n рівно надійних елементів ($\lambda_i = \lambda$)

$$\Lambda = n\lambda, \quad T_0 = \frac{T_{0i}}{n}.$$

Таким чином, інтенсивність відмов у n разів більша, а середній наробіток у n раз менший, ніж в одного елемента.

Системи з паралельним з'єднанням елементів

Системою з паралельним з'єднанням елементів називається система, відмова якої відбувається тільки у випадку відмови всіх її елементів. Такі схеми надійності характерні для ТС, у яких елементи дублюються або резервуються, тобто паралельне з'єднання використовується як метод підвищення надійності. Однак, такі системи зустрічаються і як самостійні (наприклад, паралельне включення діодів у силових випрямляючих пристроях).

Для відмови системи з паралельним з'єднанням елементів протягом наробітку t необхідно і досить, щоб усі її елементи відмовили протягом цього наробітку. Так що відмова системи полягає в спільній відмові всіх елементів, імовірність чого (за умови допущення незалежності відмов) може бути знайдена за теоремою множення ймовірностей, як добуток імовірностей відмови елементів

$$Q = q_1 q_2 \dots q_n = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

Відповідно імовірність безвідмовної роботи

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i).$$

Для систем з рівнонадійних елементів ($p_i = p$)

$$Q = q^n, \quad P = 1 - (1 - p)^n,$$

Таким чином, надійність системи з паралельним з'єднанням підвищується із збільшенням числа елементів (наприклад, при $p = 0,9$ і $n = 2$ $P = 0,99$, а при $n = 3$ $P = 0,999$).

Оскільки $q_i < 1$, добуток у правій частині рівняння завжди менше кожного зі співмножників, тобто імовірність відмови системи може бути вище імовірності самого надійного її елемента («краще кращого») і навіть з порівняно ненадійних елементів можна побудувати цілком надійну систему.

При експонентному розподілі наробітку попередній вираз приймає вигляд

$$P = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n,$$

звідки, після інтегрування і перетворень середній наробіток системи визначається як

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = T_{0i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i},$$

де, $T_{0i} = 1/\lambda_i$ – середній наробіток елемента. У разі великих значень n справедлива наближена формула

$$T_0 = T_{0i} \left(\ln n + \frac{1}{2n} + 0,577 \right).$$

Таким чином, середній наробіток системи з паралельним з'єднанням більше середнього наробітку її елементів (наприклад, при $n = 2$ $T_0 = 1,5T_{0i}$; при $n = 3$ $T_0 = 1,83T_{0i}$) [48].

Системи типу «m із n»

Систему типу « m із n » можна розглядати як варіант системи з паралельним з'єднанням елементів, відмова якої відбудеться, якщо з n елементів, з'єднаних паралельно, працездатними виявляться менше m елементів ($m < n$).

На рис. 2.4 показана система «2 з 5», яка працездатна, якщо з п'яти її елементів працюють будь-які два, три, чотири або всі п'ять (на схемі пунктиром обведені функціонально необхідні два елементи, причому виділення елементів 1 і 2 зроблено умовно, у дійсності всі п'ять елементів рівнозначні).

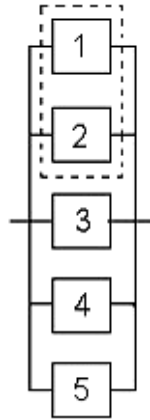


Рисунок 2.4 – Система «2 з 5»

Для розрахунку надійності систем типу « m із n » з порівняно невеликою кількістю елементів можна скористатися методом прямого перебору. Він полягає у визначенні працездатності кожного з можливих станів системи, що визначаються різними співвідношеннями працездатних і непрацездатних станів елементів.

Усі стани системи «2 з 5» занесено в табл. 2.1 (у таблиці працездатні стани елементів і системи відзначені знаком «+», непрацездатні – знаком «-»). Для даної системи працездатність визначається лише кількістю працездатних елементів. За теоремою множення ймовірностей, ймовірність будь-якого стану визначається як добуток ймовірностей станів, у яких перебувають елементи. Наприклад, у рядку 9 описаний стан системи, у якій відмовили елементи 2 і 5, а інші працездатні. При цьому умова «2 з 5» виконується, так що система в цілому працездатна. Ймовірність такого стану $P_9 = p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 = p^3 q^2$ (передбачається, що всі елементи рівнонадійні). Ймовірність безвідмовної роботи системи може бути знайдена за

теоремою додавання ймовірностей усіх працездатних з'єднань. Оскільки в табл. 2.1 кількість непрацездатних станів менша, ніж працездатних, простіше обчислити ймовірність відмови системи. Для цього додаються ймовірності непрацездатних станів (де не виконується умова «2 з 5»)

$$\begin{aligned} Q &= P_{32} + P_{27} + P_{28} + P_{29} + P_{30} + P_{31} = q^5 + 5pq^4 = \\ &= (1-p)^5 + 5p(1-p)^4 = 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5. \end{aligned}$$

Тоді ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P = 1 - q = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5.$$

Розрахунок надійності системи « m із n » може проводитись комбінаторним методом, в основі якого лежить формула біноміального розподілу. Біноміальному розподілові підпорядковується дискретна випадкова величина k – число появ деякої події в серії з n дослідів, якщо в окремому досліді ймовірність появи події складає p . При цьому ймовірність появи події рівна k раз визначається

$$P_k = C_n^k p^k (1-p)^{n-k},$$

де C_n^k – біноміальний коефіцієнт, що називається «числом сполучень по k з n »,

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

Оскільки для відмови системи « m із n » досить, щоб кількість справних елементів була менше m , ймовірність відмови може бути знайдена за теоремою додавання ймовірностей для $k = 0, 1, \dots, (m-1)$:

$$Q = \sum_{k=0}^{m-1} P_k = \sum_{k=0}^{m-1} C_n^k p^k (1-p)^{n-k}.$$

Аналогічно можна знайти імовірність безвідмовної роботи як суму для $k = m, m + 1, \dots, n$:

$$P = \sum_{k=m}^n P_k = \sum_{k=m}^n C_n^k p^k (1-p)^{n-k}.$$

Очевидно, що $Q+P=1$, тому в розрахунках варто вибирати ту з формул, що у даному конкретному випадку містить менше число доданків [48].

Для системи «2 з 5» одержимо:

$$P = C_5^2 p^2 (1-p)^3 + C_5^3 p^3 (1-p)^2 + C_5^4 p^4 (1-p) + C_5^5 p^5 = 10p^2(1-p)^3 + 10p^3(1-p)^2 + 5p^4(1-p) + p^5 = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5.$$

Імовірність відмови тієї ж системи:

$$Q = C_5^0 (1-p)^5 + C_5^1 p(1-p)^4 = (1-p)^5 + 5p(1-p)^4 = 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5,$$

Мостові схеми

Мостова структура (рис. 2.5, а, б) не зводиться до паралельного або послідовного типу з'єднання елементів, а являє собою паралельне з'єднання послідовних кіл елементів з діагональними елементами, включеними між вузлами різних паралельних відгалужень. Працездатність такої системи визначається не тільки кількістю елементів, що відмовили, але і їхнім положенням у структурній схемі.

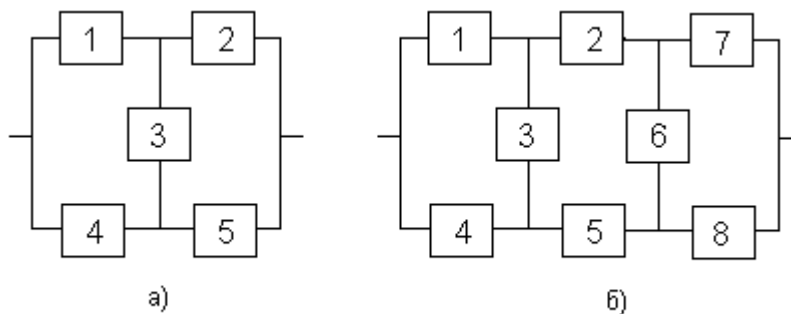


Рисунок 2.5 – Мостові схеми

Для розрахунку надійності мостових систем можна скористатися методом прямого перебору, як це було зроблено для систем « m із n », але аналізуючи працездатність кожного стану системи, необхідно враховувати не тільки кількість елементів, що відмовили, але і їх положення в схемі. Імовірність безвідмовної роботи системи визначається як сума ймовірностей усіх станів:

$$\begin{aligned}
 P = & p_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 q_5 + p_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + p_1 p_2 q_3 p_4 p_5 + \\
 & + p_1 q_2 p_3 p_4 p_5 + q_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 q_3 p_4 q_5 + p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 + \\
 & + q_1 p_2 p_3 p_4 q_5 + p_1 p_2 q_3 q_4 p_5 + p_1 q_2 p_3 q_4 p_5 + q_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + \\
 & + p_1 q_2 q_3 p_4 p_5 + q_1 p_2 q_3 p_4 p_5 + q_1 q_2 q_3 p_4 p_5 + p_1 q_2 q_3 p_4 q_5.
 \end{aligned}$$

У випадку рівнонадійних елементів

$$P = p^5 + 5p^4q + 8p^3q^2 + 2p^2q^3 = 2p^5 - 5p^4 + 2p^3 + 2p^2.$$

Метод прямого перебору ефективний тільки для малої кількості елементів n , оскільки число станів системи складає 2^n . Деяке спрощення досягається, якщо в таблицю станів включати тільки сполучення, що відповідають працездатному (або тільки непрацездатному) станів системи в цілому.

У ряді випадків аналізу надійності ТС можливо скористатися методом розкладання щодо особливого елемента, який засновано на відомій у математичній логіці теоремі про розкладання функції логіки за будь-яким аргументом. Відповідно до неї можна записати:

$$P = p_i P(p_i = 1) + q_i P(p_i = 0),$$

де, p_i і $q_i = 1 - p_i$ – імовірності безвідмовної роботи і відмови i -го елемента,

$P(p_i = 1)$ і $P(p_i = 0)$ – імовірності працездатного стану системи за умови, що i -й елемент абсолютно надійний і що i -й елемент відмовив.

Для мостової схеми як особливий елемент доцільно вибрати діагональний елемент 3. При $p_3 = 1$ мостова схема перетворюється в паралельно-послідовне з'єднання, а при $p_3 = 0$ – у послідовно-паралельне.

Для перетворених схем можна записати:

$$P(p_3 = 1) = [1 - (1 - p_3)(1 - p_2)] \cdot [1 - (1 - p_4)(1 - p_5)],$$

$$P(p_3 = 0) = 1 - (1 - p_1 p_4)(1 - p_2 p_5).$$

Тоді на підставі попередньої формули одержимо:

$$P = p_3 [1 - (1 - p_1)(1 - p_2)] \cdot [1 - (1 - p_4)(1 - p_5)] + (1 - p_3) [1 - (1 - p_1 p_4)(1 - p_2 p_5)].$$

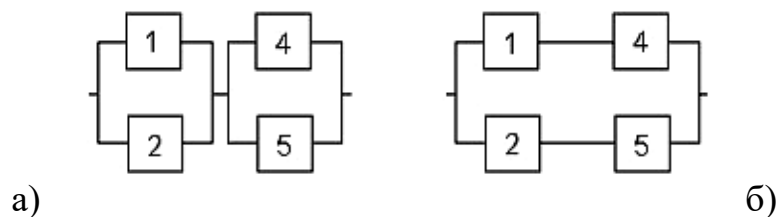


Рисунок 2.6 – Перетворення мостової схеми за умови абсолютно надійного особливого елемента (а) та відмови особливого елемента (б)

Цим методом можна скористатися і при розкладанні щодо декількох «особливих» елементів. Наприклад, для двох елементів (i, j)

$$P = p_i p_j P(p_i = 1, p_j = 1) + p_i q_j P(p_i = 1, p_j = 0) + \\ + q_i p_j P(p_i = 0, p_j = 1) + q_i q_j P(p_i = 0, p_j = 0).$$

Імовірність безвідмовної роботи мостової схеми у разі розкладання щодо діагональних елементів 3 і 6 визначиться як

$$P = p_3 p_6 P(p_3 = 1, p_6 = 1) + p_3 q_6 P(p_3 = 1, p_6 = 0) + \\ + q_3 p_6 P(p_3 = 0, p_6 = 1) + q_3 q_6 P(p_3 = 0, p_6 = 0).$$

Імовірності $P(p_3 p_6)$ легко обчислити, виконавши попередні перетворення схем [48].

Комбіновані системи

Більшість реальних ТС має складну комбіновану структуру, частина елементів якої утворює послідовне з'єднання, інша частина – паралельне, окремі галузі елементів або галузі структури утворюють мостові схеми або типу « m із n ».

Метод прямого перебору для таких систем практично не може бути реалізованим. Більш доцільно в цих випадках попередньо зробити декомпозицію системи, розбивши її на прості підсистеми – групи елементів, методика розрахунку надійності яких відома. Потім ці підсистеми в структурній схемі надійності замінюються квазіелементами з ймовірностями безвідмовної роботи, рівними обчисленим ймовірностям безвідмовної роботи цих підсистем. При необхідності таку процедуру можна виконати кілька разів доки квазіелементи, що залишилися, не утворять структуру, методика розрахунку надійності якої також відома.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ТРАНЗИТНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

В першому розділі вже було описано, що в даний час на транзитних ТП набули поширення два варіанти РП живлячої напруги.

При використанні сучасного обладнання можуть бути отримані дві схеми РП живлячої напруги транзитних ТП [7-16]:

- «схема з вимикачем в перемичці»,
- «схема без вимикача в перемичці».

Перша схема (рис 3.1) має один вимикач в перемичці огорожений роз'єднувачами з обох боків.

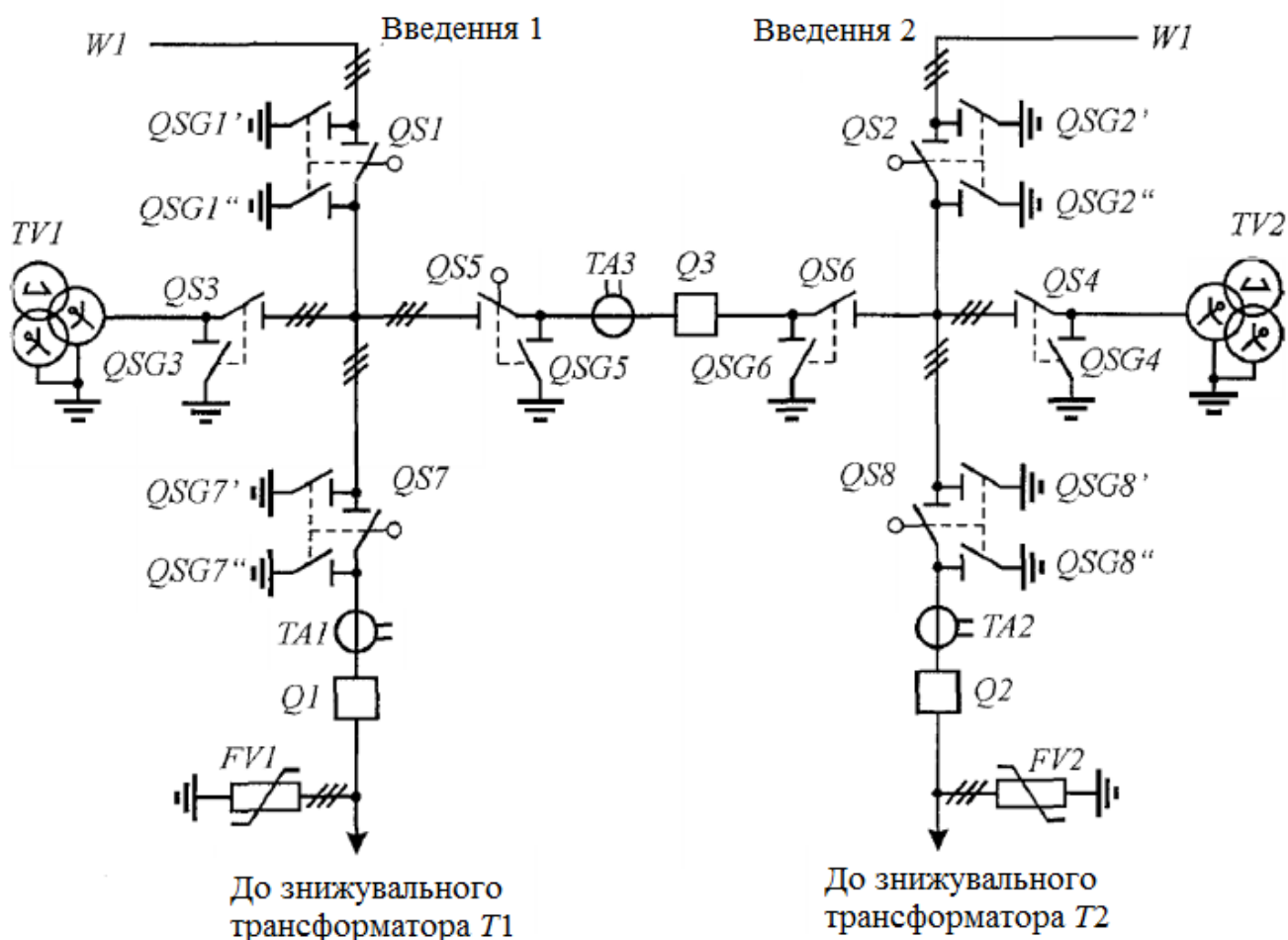


Рисунок 3.1 – Схема РП живлячої напруги транзитної підстанції з вимикачем в перемичці на окремо розташованому обладнанні

Транзит електроенергії здійснюється по колу $QS1-QS5-Q3-QS6-QS2$, тобто автоматичне секціонування лінії живлення здійснюється вимикачем $Q3$. При виведенні $Q3$ в ремонт транзит припиняється, але живлення споживачів не переривається і здійснюється від сусідніх транзитних або опорних ТП. Відключення або вивід в ремонт знижувальних трансформаторів $T1$ або $T2$ здійснюється відповідним вимикачем $Q1$ або $Q2$. Обмежувачі перенапруг $FV1$ і $FV2$ встановлені на ділянках приєднання трансформаторів.

Запропонована схема в порівнянні з типовою схемою РП живлячої напруги транзитних ТП з ремонтною перемичкою з боку трансформаторів має на два роз'єднувача менше (табл. 3.1).

Друга схема (рис. 3.2) має перемичку без вимикача відокремлену роз'єднувачами з обох сторін.

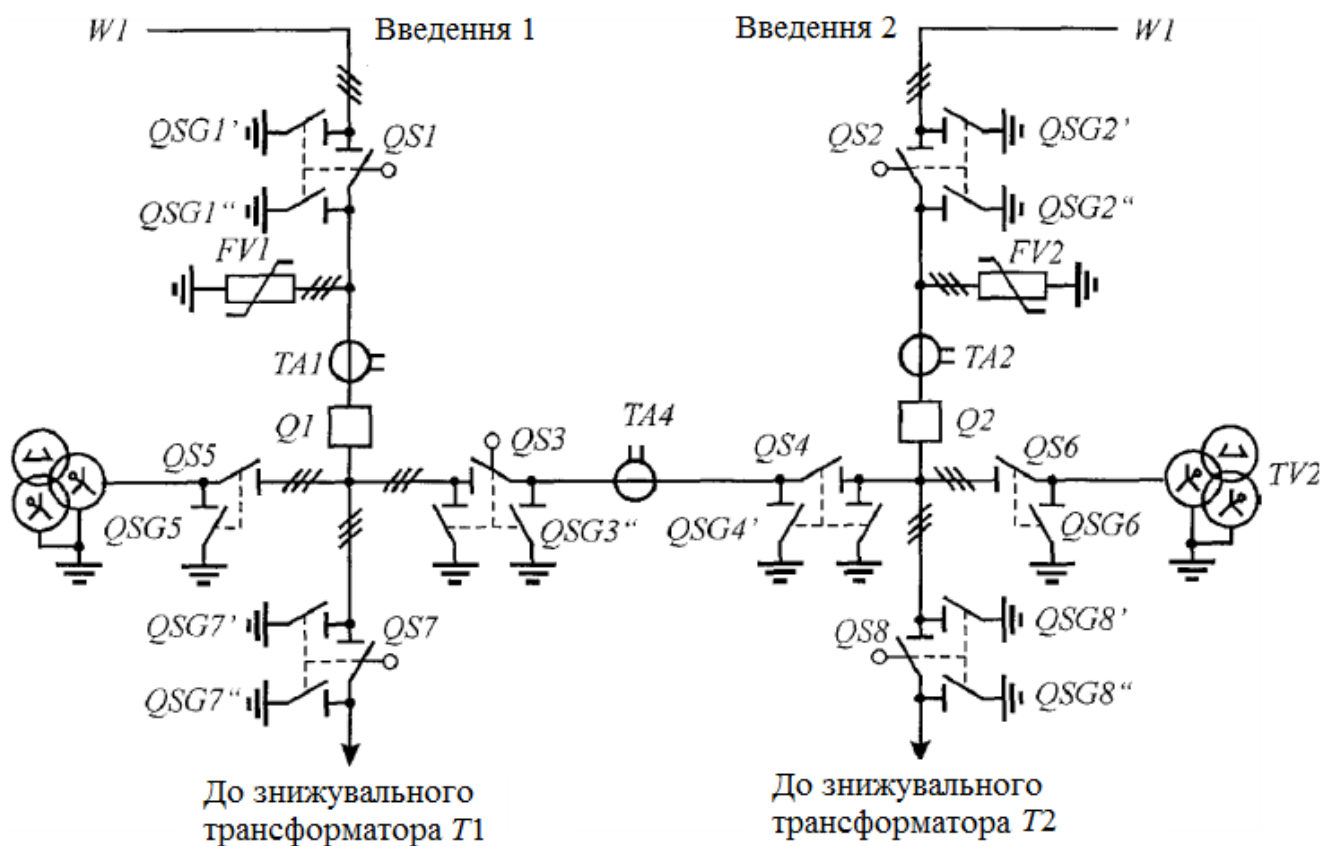


Рисунок 3.2 – Схема РП живлячої напруги транзитної підстанції без вимикача в перемичці на окремо розташованому обладнанні

Транзит електроенергії і живлення споживачів підстанції здійснюється по вимикачам $Q1$ та $Q2$, які також секціонують живлячу лінію. Відключення одного з

цих вимикачів не приводить до втрати живлення споживачів підстанції, так як живлення буде здійснюватися по іншому вводу.

Схема без вимикача в перемичці може мати два режими роботи трансформаторів:

1) живлення РП здійснюється за двома вводами, а споживачів живить один знижувальний трансформатор, при цьому, другий в резерві;

2) живлення РП здійснюється за двома вводами, а споживачів живлять два знижувальних трансформатори, що працюють паралельно.

Якщо має місце перша схема живлення, то при виході з ладу знижувального трансформатора відключаться обидва вимикача. В цьому випадку в безструмову паузу повинен відключитися роз'єднувач пошкодженого трансформатора, і включитися роз'єднувач другого трансформатора, що перебуває в резерві. При другій схемі живлення, при виході з ладу знижувального трансформатора, так само відключаються обидва вимикача і в безструмову паузу повинен відключитися роз'єднувач пошкодженого трансформатора. Все це підвищує вимоги до автоматики.

Запропонована схема в порівнянні з типовою схемою РП живлячої напруги транзитних ТП з ремонтною перемичкою з боку живильної лінії має на чотири роз'єднувача і один вимикач менше (табл. 3.1). Тобто схема без вимикача в перемичці за кількістю електротехнічного обладнання співпадає з типовою схемою ТП на відпайках, але дозволяє здійснювати автоматичне секціонування ЛЕП і тим самим забезпечити надійний транзит. Це дозволяє позиціонувати схему без вимикача в перемичці як універсальну проміжну ТП.

Таблиця 3.1 – Кількість вимикачів і роз'єднувачів у різних варіантах схем РП живлячої напруги транзитних підстанцій

Обладнання	«з ремонтною перемичкою зі сторони лінії»	«з ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів»	«з вимикачем в перемичці»	«без вимикача в перемичці»
Вимикач, шт.	3	3	3	2
Роз'єднувач, шт.	10	12	8	8

Схемні рішення РП живлячої напруги транзитних ТП, наведені на рис 3.1 та рис. 3.2, аналогічно схемам ТП на відпайках, можуть бути реалізовані на укрупнених або спрощених комірках інтегрального силового обладнання (ІСО). Приклади схем РП живлячої напруги транзитних ТП на спрощених ІСО з окремим елегазовим вимикачем наведені на рис. 3.3 - 3.8.

На рис. 3.3 - 3.5 показані різні варіанти реалізацій схемних рішень РП живлячої напруги транзитних ТП з вимикачем в перемичці на ІСО різного ступеня інтеграції.

На рис. 3.3 приведена схема РП живлячої напруги транзитних ТП виконана на двох комірках ІСО типу $1Q + 3QS$. У перемичку встановлений окремий елегазовий вимикач. Тут, так само як і на ТП на відпайках, трансформатори $TV1$ і $TV2$ необхідні для обліку електричної енергії, а $FV1$ і $FV2$ захищають від перенапруг ділянку приєднання силового трансформатора.

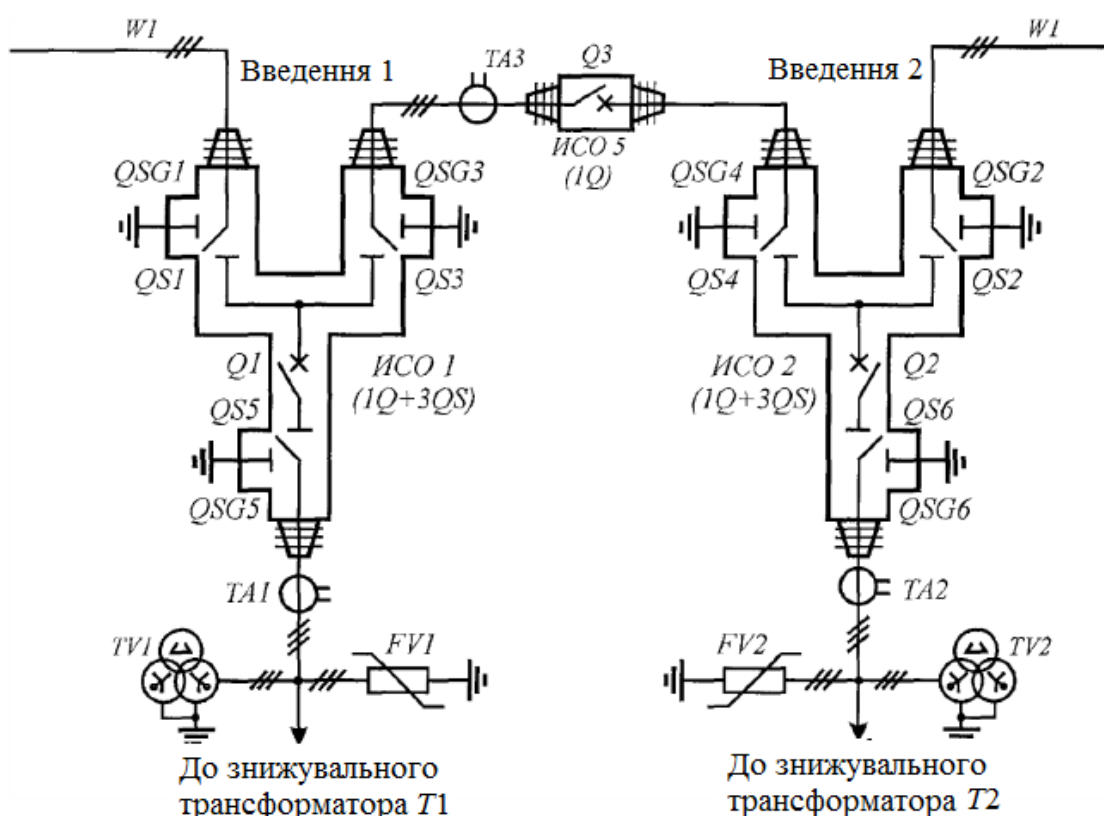


Рисунок 3.3 – Схема РП живлячої напруги транзитної ТП без ремонтної перемички на укрупнених комірках ІСО

На рис. 3.4 наведена схема РП живлячої напруги транзитних ТП виконана на чотирьох комірках ІСО, а саме, відмінність схем наведених на рис. 3.3 і рис. 3.4 полягає в «розбитій» комірці ІСО на два типи: $2QS$ і $1Q + 1QS$. Також як і в ТП на відпайках це дозволить скоротити вартість РП живлячої напруги транзитних ТП.

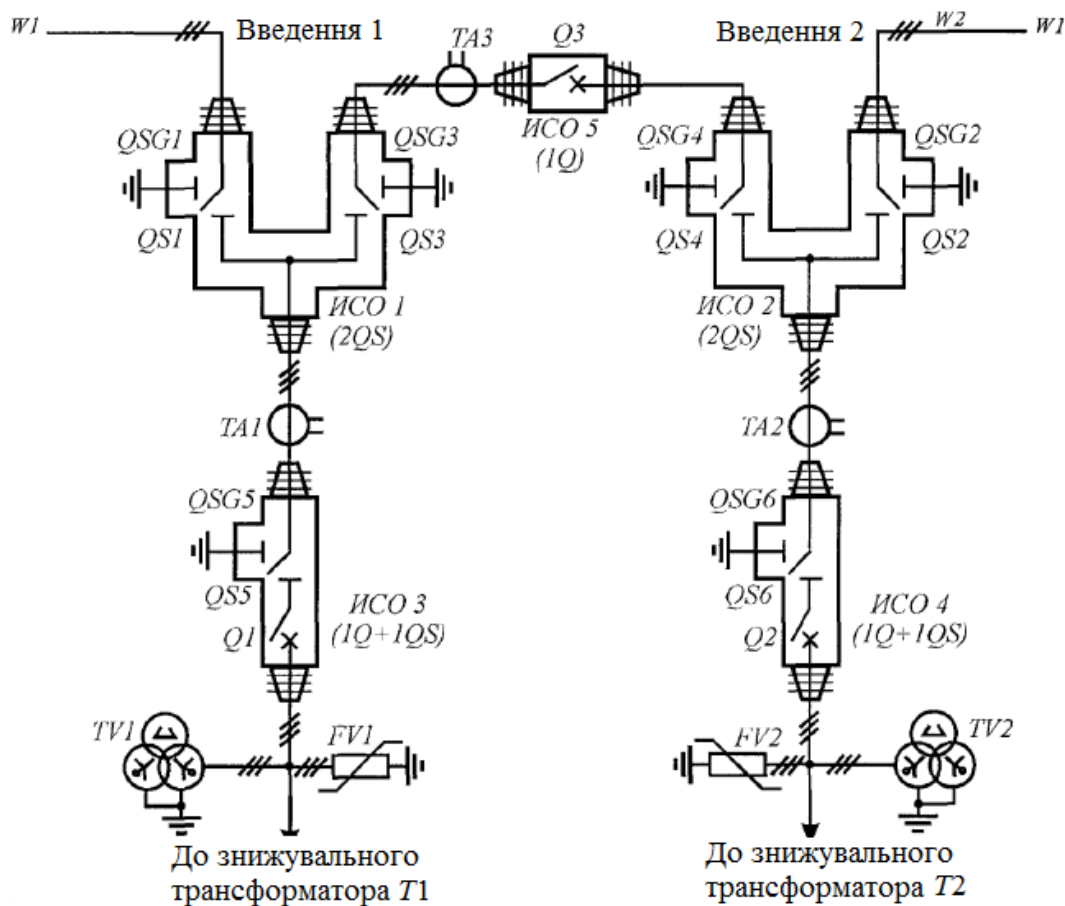


Рисунок 3.4 – Схема РП живлячої напруги транзитної ТП з вимикачем в перемичці на спрощених ІСО

Схема, наведена на рис. 3.5 складається з двох комірок ІСО ($3QS$) і трьох окремо розташованих елегазових вимикачів або комірок ІСО типу $1Q$. У такій схемі є можливість використання високої частки окремо розташованого обладнання виробленого вітчизняними підприємствами, що дозволяє говорити про найбільш низькі капітальні витрати серед запропонованих вище варіантів виконання схеми з вимикачем в перемичці.

На рис. 3.6 – 3.8 показані різні варіанти реалізації схемних рішень РП живлячої напруги транзитних ТП без вимикача в перемичці на ІСО різного ступеня інтеграції.

Запропонована схема (рис. 3.6) складається з двох комірок ІСО типу $1Q + 3QS$. Виконання комірки таке, що вимикач який знаходиться з боку лінії виконує функції секційного і вимикача введення. Це дозволяє відмовитися від одного вимикача розташованого в перемичці. Для обліку електричної енергії між комірками ІСО і силовими трансформаторами встановлені трансформатори напруги $TV1$ і $TV2$. Для захисту від перенапруг, що приходять з лінії встановлені ОПН.

Схема дозволяє виводити в ремонт трансформатор без перерви транзиту і живлення споживачів і володіє достатньою гнучкістю.

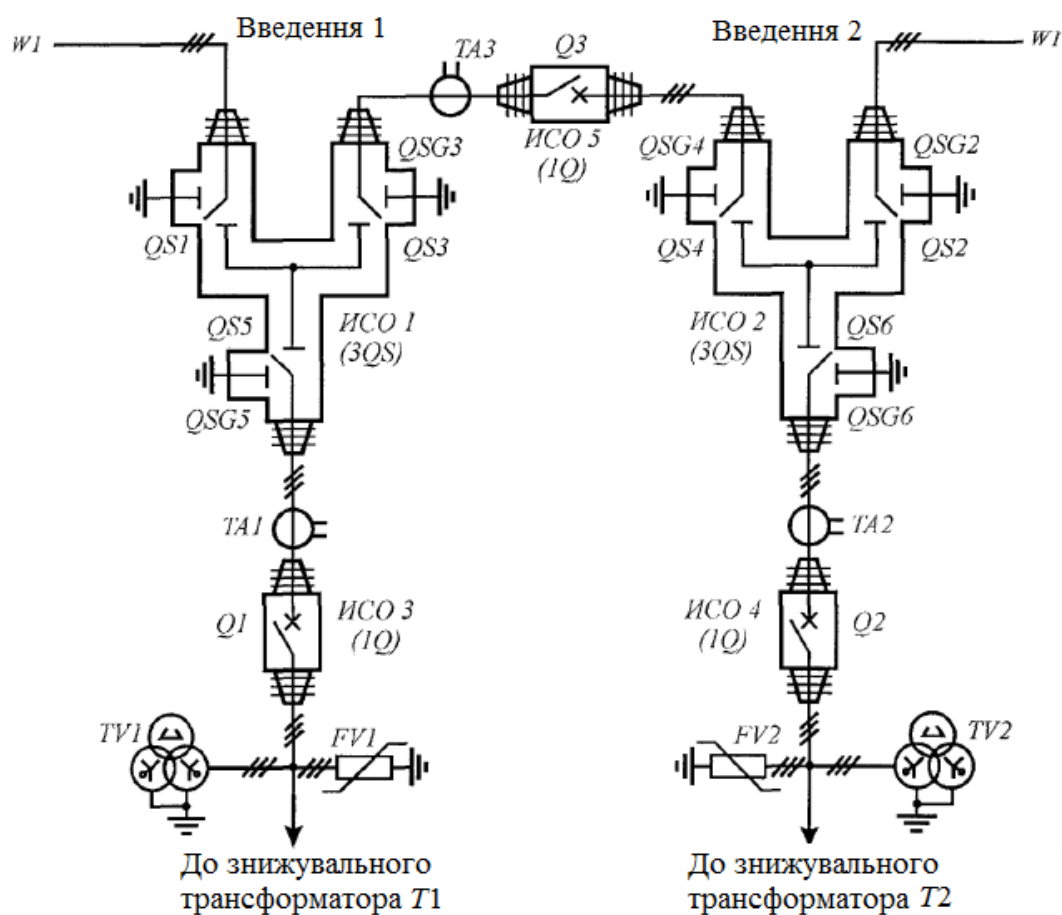


Рисунок 3.5 – Схема РП живлячої напруги транзитної ТП з вимикачем в перемичці на спрощених ІСО з елегазовими вимикачами

На відміну від схем наведених на рис. 3.6 і 3.7, вимикачі $Q1$ і $Q2$ на рис. 3.8 не відокремлюються від живильної лінії роз'єднувачем. Тому вивід в ремонт вимикача $Q1$ ($Q2$) повинен супроводжуватися відключенням лінії $W1$ ($W2$) з сусідньої живильної ТП і заземленням лінії ножами $QSG9$ ($QSG10$). При цьому живлення споживачів продовжує здійснюватися по двом трансформаторам $T1$ і $T2$ через перемичку від працюючої лінії живлення з іншого боку.

У такій схемі є можливість використання високої частки окремо розташованого обладнання виробленого вітчизняними підприємствами, що дозволяє говорити про найбільш низькі капітальні витрати серед запропонованих вище варіантів виконання схеми без вимикача в перемичці.

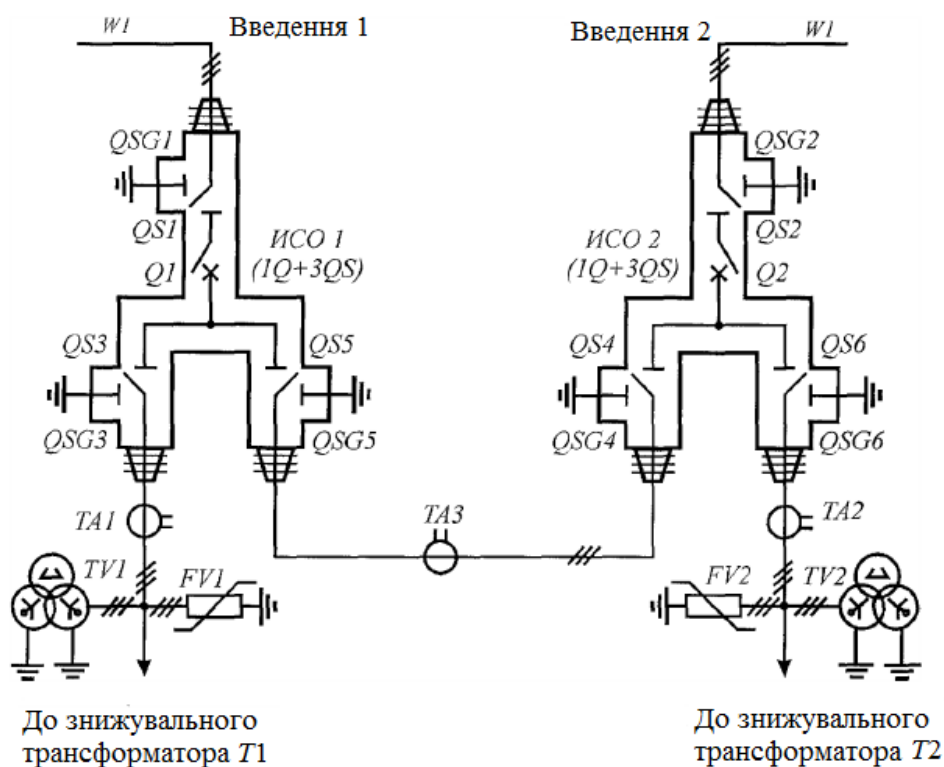


Рисунок 3.6 – Схема РП живлячої напруги транзитної ТП без вимикача в перемичці на укрупнених комірках ІСО

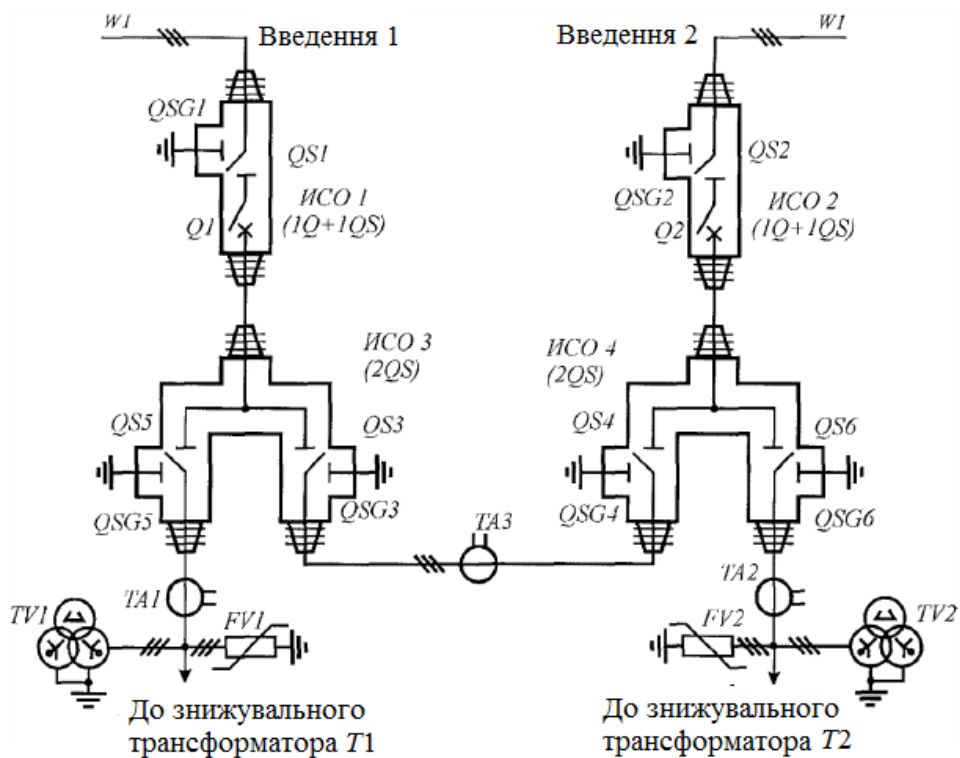


Рисунок 3.7 – Схема РП живлячої напруги транзитної ТП без вимикача в перемичці на спрощених комірках ІСО

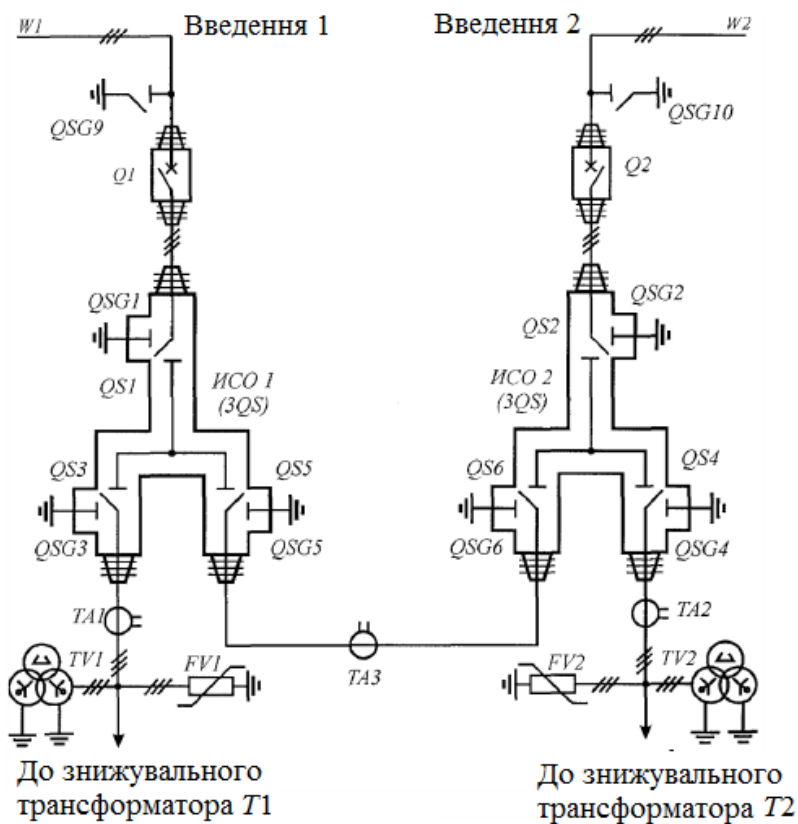


Рисунок 3.8 – Схема РП живлячої напруги транзитної ТП без вимикача в перемичці на спрощених комірках ІСО з елегазовими вимикачами

4 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ

4.1 Визначення ступеню зміни надійності при заміні обладнання в транзитних ТП

Проведемо оцінку ступеню зміни надійності при заміні того чи іншого типу електротехнічного обладнання в розподільчому пристрої живлячої напруги. Отже, будемо вважати, що заміні підлягають всі елементи одного і того ж типу, а інші елементи схеми залишаються незмінними.

Розрахунок з точки зору надійності будемо проводити для наступних варіантів:

- 1) встановлення ОПН замість розрядників;
- 2) встановлення сучасних роз'єднувачів замість застарілих;
- 3) встановлення елегазових вимикачів замість масляних;
- 4) одночасне виконання п. 1-3.

Зробимо наступні припущення:

1. Параметр потоку відмов заданого обладнання представляє собою усереднене значення параметрів.

2. В даному інтервалі часу етап приробітку завершений, а етап старіння ще не розпочався. Отже можна прийняти параметр потоку відмов стаціонарним.

3. Закон розподілу – експонентний.

Одне з основних призначень транзитної ТП – забезпечення надійного транзиту. Тому проведемо розрахунок ступеня зміни надійності при заміні того чи іншого типу електротехнічного обладнання в РП живлячої напруги типових схем транзитних ТП з ремонтною перемичкою з боку живильної лінії і з ремонтної перемичкою з боку понижуючих трансформаторів при транзиті електричної енергії та при електропостачанні споживачів.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку зміни надійності електропостачання споживачів транзитних ТП з ремонтною перемичкою з боку живильної лінії при почерговій заміні обладнання

Показник	Варіанти заміни обладнання				
	Все старе	ОПНи	Роз'єднувачі	Елегазові вимикачі	Все сучасне
Надійність транзиту електричної енергії					
P_c	0,8738	0,8737	0,8801	0,8811	0,8868
Надійність електроспоживання споживачів					
P_c	0,8834	0,9088	0,8873	0,9575	0,9767

На рис. 4.1 показано на скільки у відсотках підвищується надійність транзиту електричної енергії та електроспоживання споживачів типової схеми транзитних ТП з ремонтною перемичкою зі сторони живлячої лінії при почерговій заміні обладнання.

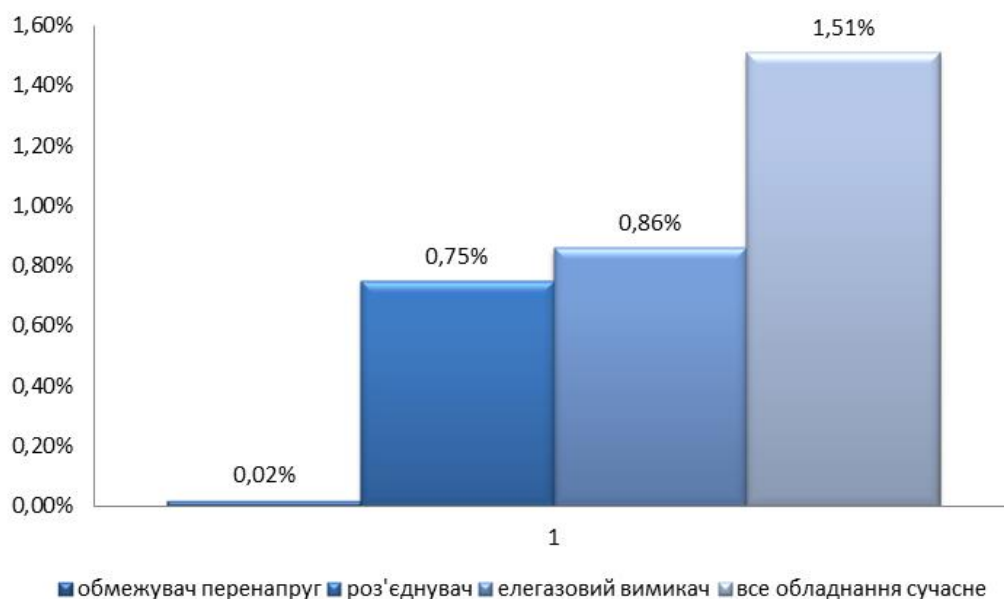


Рисунок 4.1 – Результати розрахунків зміни ймовірності безвідмовної роботи типової схеми транзитних ТТП з ремонтної перемичкою з боку живильної лінії при транзиті електроенергії

З рисунка 4.1, можна помітити, що в цілому надійність транзиту схеми з ремонтною перемичкою з боку живильної лінії при заміні, як певного типу обладнання, так і всього застарілого на сучасне, не дає значного приросту

надійності.

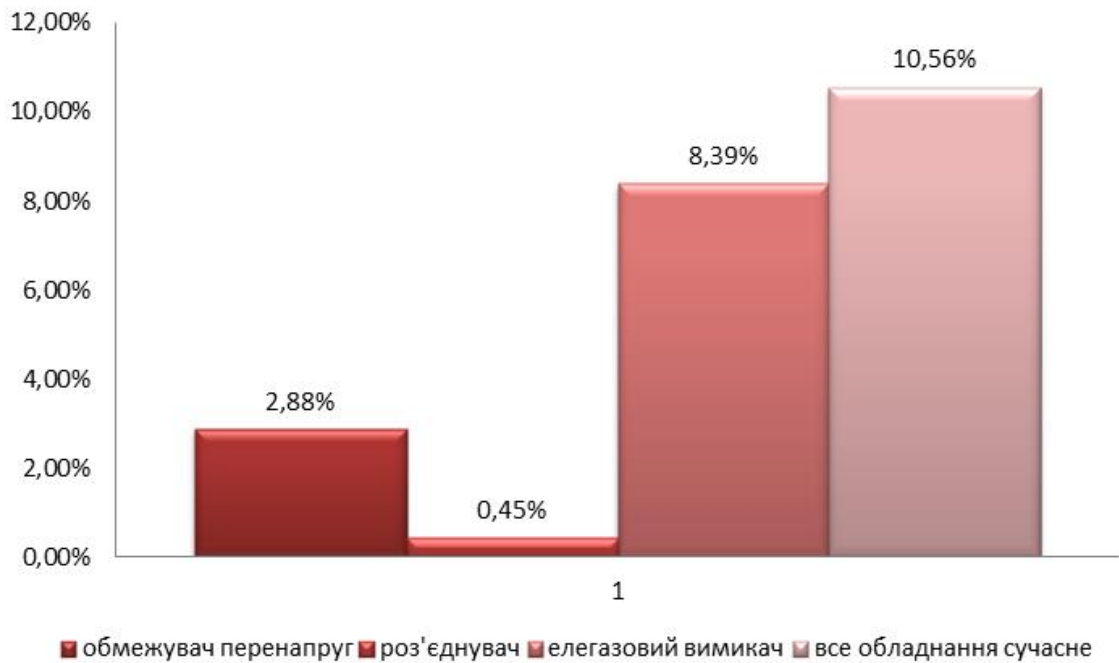


Рисунок 4.2 – Результати розрахунків зміни ймовірності безвідмовної роботи типової схеми транзитних ТТП з ремонтної перемичкою з боку живильної лінії при електроспоживанні споживачів

З рисунка 4.2 видно, що перехід на сучасне обладнання дозволяє підвищити показники надійності майже на 10%. З них заміна вимикачів дозволяє підвищити надійність електропостачання споживачів на 8,39%, а заміна розрядників на ОПН – 2,9%. При цьому заміна роз'єднувачів практично не призводить до зміни надійності [18].

4.2 Вибір оптимальної схеми

Проведемо оцінку показників надійності для схем, що були представлені у третьому розділі.

Для попередньої оцінки надійності введемо наступні припущення:

- 1) враховуємо два умовно названих типи відмови – обрив і коротке замикання (КЗ);
- 2) етап підробітки 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 [9, 17-21].

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.

Оцінку надійності виконаємо в наступних режимах роботи схем:

- 1) транзит електричної енергії;
- 2) живлення споживачів при одному включеному трансформаторі;
- 3) живлення споживачів при двох включених трансформаторах;

Час роботи ремонтної перемички при планових роботах на транзитній перемичці дуже малий в порівнянні з часом знаходження транзитної перемички в роботі. Тому режими її роботи не враховуються.

Для прикладу розглянемо складання схем заміщення по надійності і отримаємо вирази, що визначають імовірність безвідмовної роботи, для варіанта 1 (транзитна тягова підстанція на окремо розташованому обладнанні з ремонтною перемичкою зі сторони лінії) в вище перерахованих режимах роботи.

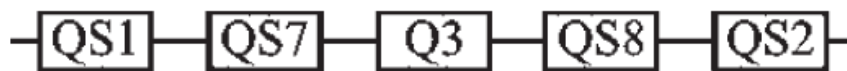


Рисунок 4.3 – Режим 1. Обрив

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

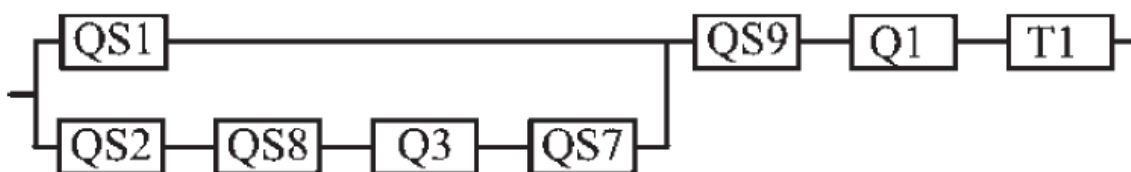


Рисунок 4.4 – Режим 2. Обрив

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

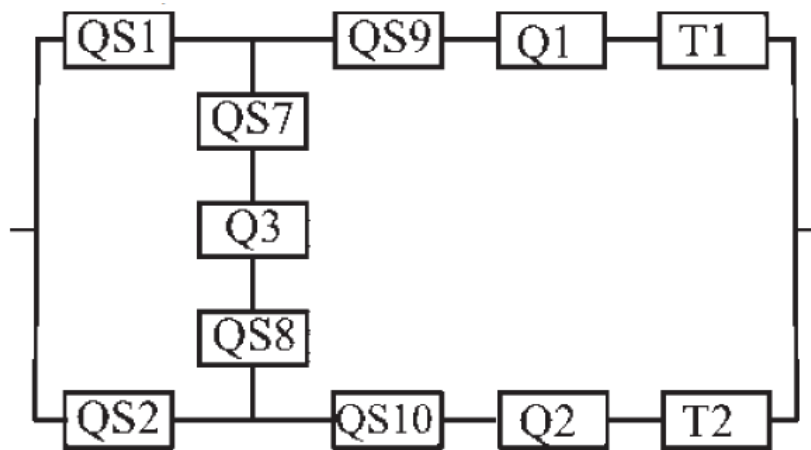


Рисунок 4.5 – Режим 3. Обрыв

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

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

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

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

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

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

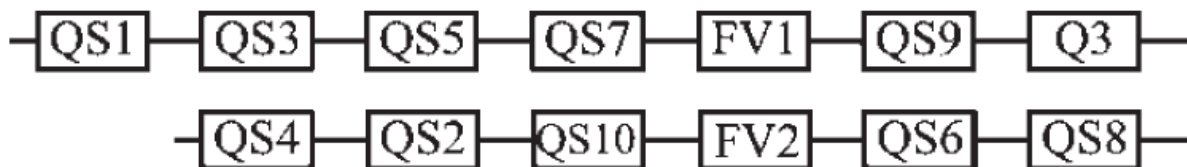


Рисунок 4.6 – Режим 1. К3

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

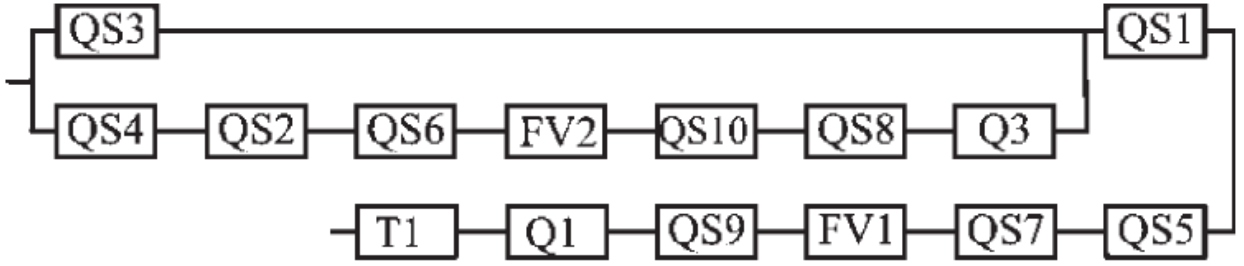


Рисунок 4.7 – Режим 2. К3

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

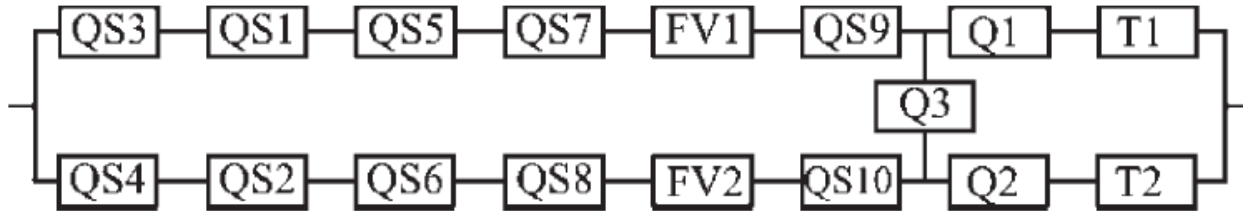


Рисунок 4.8 – Режим 3. К3

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

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

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

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

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

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

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 [5, 22, 23] (табл. 4.2).

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
Вимірювальний трансформатор	0,03	0,8607	0,1393
Розрядник РВС	0,011	0,9465	0,0535
ОПН	0,001	0,995	0,005

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.

Типові схеми розрахуємо при обох виконаннях, а знову запропоновані схеми – тільки при виконанні на новому обладнанні.

У табл. 4.3 і 4.4 зведені основні результати розрахунку показників надійності схем при відмові типу обрив і КЗ.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку показників надійності схем при відмові типу обрив

Показник	«з ремонтною перемичкою зі сторони лінії»	«з ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів»	«з вимикачем в перемичці»	«без вимикача в перемичці»
Транзит електричної енергії				
P_C	<u>0,8799</u> 0,7947	<u>0,8799</u> 0,7947	0,8799	0,8504
Q_C	<u>0,1201</u> 0,2953	<u>0,1201</u> 0,2953	0,1201	0,1496
Живлення споживачів при одному включеному трансформаторі				
P_C	<u>0,8107</u> 0,6493	<u>0,7919</u> 0,6333	0,8107	0,8361
Q_C	<u>0,1893</u> 0,3507	<u>0,2081</u> 0,3667	0,1893	0,1639
Живлення споживачів при двох включених трансформаторах				
P_C	<u>0,9638</u> 0,8767	<u>0,9563</u> 0,8652	0,9638	0,9709
Q_C	<u>0,0362</u> 0,1233	<u>0,0437</u> 0,1348	0,0362	0,0291

Таблиця 4.4 – Результати розрахунку показників надійності схем при відмові типу КЗ

Показник	«з ремонтною перемичкою зі сторони лінії»	«з ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів»	«з вимикачем в перемичці»	«без вимикача в перемичці»
Транзит електричної енергії				
P_C	<u>0,7565</u> 0,05434	<u>0,8009</u> 0,6376	0,7929	0,7664
Q_C	<u>0,2435</u> 0,4566	<u>0,1991</u> 0,3626	0,2071	0,2336
Живлення споживачів при одному включеному трансформаторі				
P_C	<u>0,7510</u> 0,5691	<u>0,7919</u> 0,6333	0,8107	0,8361
Q_C	<u>0,1893</u> 0,3507	<u>0,7189</u> 0,5461	0,7535	0,7546
Живлення споживачів при двох включених трансформаторах				
P_C	<u>0,9578</u> 0,8509	<u>0,9547</u> 0,8369	0,9622	0,9488
Q_C	<u>0,0422</u> 0,1491	<u>0,0453</u> 0,1631	0,0378	0,0512

У табл. 4.3 і 4.4 для варіанта 1 і варіанта 2 в чисельнику – дані при виконанні на новому обладнанні, в знаменнику – на старому обладнанні; для варіанту 3 і варіанту 4 наведені дані тільки при виконанні на новому обладнанні.

Аналізуючи результати розрахунків, можна зробити наступні висновки:

1. Застосування сучасного силового обладнання в типових схемах (варіанти 1 і 2, а саме «з ремонтною перемичкою зі сторони лінії» та «з ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів») дозволяє підвищити показники надійності схем від 20 до 46%.

2. Перенесення ремонтної перемички від лінії (варіант 1) до трансформаторів (варіант 2) при відмові типу обрив не змінило, а при відмові типу КЗ незначно збільшило надійність транзиту електроенергії. Наприклад, в разі застосування нового обладнання ймовірність безвідмовної роботи при транзиті у варіанту 2 вище на 5,9%, ніж у варіанту 1. Разом з тим надійність живлення споживачів підстанції або практично не змінилася (при живленні від двох трансформаторів), або знизилася (при живленні від одного трансформатора). Так, при відмову типу КЗ і в разі застосування нового обладнання ймовірність безвідмовної роботи у варіанта 1 на 4,5% вище, ніж у варіанта 2. Таким чином, схема РП живлячої напруги транзитної тягової підстанції, прийнята для проектування в даний час (варіант 2), в цілому є не надійнішою, але більш дорогою (має на 2 роз'єднувачі більше), ніж схема, яка застосовувалася до 1990 р (варіант 1).

3. Імовірність безвідмовної роботи запропонованих спрощених схем (варіанти 3 і 4) в 1,2 - 1,5 рази вище аналогічних показників типових схем (варіанти 1 і 2) в разі застосування на останніх старого обладнання. Порівнюючи запропоновані схеми з типовими схемами в разі застосування на них нового обладнання, можна сказати, що спрощення схеми РП за варіантом 3 в усіх режимах не зменшує надійність роботи транзитної підстанції. Спрощення схеми РП за варіантом 4 для деяких режимів зменшує (на 4,5%), а для деяких збільшує (на 5,6%) надійність роботи транзитної підстанції. Отже, спорудження нових або реконструкція існуючих розподільних пристроїв живлячої напруги транзитних

підстанцій по запропонованим спрощеними схемами не зменшиться, а в багатьох режимах збільшить надійність їх роботи.

4. З двох запропонованих схем перспективним може бути визнаний варіант 4, який, практично не поступається в надійності варіанту 3, має меншу вартість (меншу кількість обладнання).

5. Зі схеми варіанту 4 випливає, що такий РП живлячої напруги транзитної ТП за кількістю обладнання співпадає з розподільним пристроєм живлячої напруги ТП на відпайках. Тому всі ТП на відпайках можна буде замінити на транзитні за варіантом 4. Це дозволить додатково секціонувати систему зовнішнього електропостачання, що, в свою чергу, також призведе до значного збільшення надійності роботи підстанцій.

ВИСНОВОК

В даній роботі були розглянуті та описані існуючі схемні рішення для транзитних підстанцій. Описані методи розрахунку показників надійності. Досліджені нові схемні рішення розподільчих пристроїв живлячої напруги для транзитних ТП. Проведений аналіз показників надійності для запропонованих схем який дозволив зробити наступні висновки:

1. Застосування сучасного силового обладнання в типових схемах (варіанти 1 і 2, а саме «з ремонтною перемичкою зі сторони лінії» та «з ремонтною перемичкою зі сторони трансформаторів») дозволяє підвищити показники надійності схем від 20 до 46%.

2. Перенесення ремонтної перемички від лінії (варіант 1) до трансформаторів (варіант 2) при відмові типу обрив не змінило, а при відмові типу КЗ незначно збільшило надійність транзиту електроенергії. Наприклад, в разі застосування нового обладнання ймовірність безвідмовної роботи при транзиті у варіанту 2 вище на 5,9%, ніж у варіанту 1. Разом з тим надійність живлення споживачів підстанції або практично не змінилася (при живленні від двох трансформаторів), або знизилася (при живленні від одного трансформатора). Так, при відмову типу КЗ і в разі застосування нового обладнання ймовірність безвідмовної роботи у варіанта 1 на 4,5% вище, ніж у варіанта 2. Таким чином, схема РП живлячої напруги транзитної тягової підстанції, прийнята для проектування в даний час (варіант 2), в цілому є не надійнішою, але більш дорогою (має на 2 роз'єднувачі більше), ніж схема, яка застосовувалася до 1990 р (варіант 1).

3. Ймовірність безвідмовної роботи запропонованих спрощених схем (варіанти 3 і 4) в 1,2 - 1,5 рази вище аналогічних показників типових схем (варіанти 1 і 2) в разі застосування на останніх старого обладнання. Порівнюючи запропоновані схеми з типовими схемами в разі застосування на них нового обладнання, можна сказати, що спрощення схеми РП за варіантом 3 в усіх режимах не зменшує надійність роботи транзитної підстанції. Спрощення схеми РП за

варіантом 4 для деяких режимів зменшує (на 4,5%), а для деяких збільшує (на 5,6%) надійність роботи транзитної підстанції. Отже, спорудження нових або реконструкція існуючих розподільних пристроїв живлячої напруги транзитних підстанцій по запропонованим спрощеними схемами не зменшиться, а в багатьох режимах збільшить надійність їх роботи.

4. З двох запропонованих схем перспективним може бути визнаний варіант 4, який, практично не поступається в надійності варіанту 3, має меншу вартість (меншу кількість обладнання).

5. Зі схеми варіанту 4 випливає, що такий РП живлячої напруги транзитної ТП за кількістю обладнання співпадає з розподільним пристроєм живлячої напруги ТП на відпайках. Тому всі ТП на відпайках можна буде замінити на транзитні за варіантом 4. Це дозволить додатково секціонувати систему зовнішнього електропостачання, що, в свою чергу, також призведе до значного збільшення надійності роботи підстанцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тягові підстанції електрифікованих залізниць: навч. посіб. / Т.І. Друбецька, А.М. Бойко. Київ: видавець ФОП Піча Ю.В. 2022. – 338 с.
2. 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>
3. 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. :
4. Krishnamurthy E.V., Komoissar G. Computer-aided reliability analysis of complicated networks // IEEE Trans. Reliab. 1972. R 21, 86 – 89.
5. Сухі трансформатори. EcoDry: недефективний трансформатор сухого типу. Скорочує витрати за мінімальної дії на довкілля. Технічна інформація. АBB. 1LDE000076 rus Видання-2015. - 8 с
6. Каталог. PASS M0 Елегазові комірки серії ПАСС M0 для сучасних підстанцій на класи напруги 110 та 150 кВ. АBB. – 2001. – 18 с.
7. Каталог. Стаціонарні РП з силовими вимикачами, тип 8DA / 8DB до 40,5 кВ, з елегазовою ізоляцією. Siemens – 2010. – 64 с.
8. 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.
9. 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 гірничий університет, 2005. – 445 с.
10. Каталог. Високовольтний компактний розподільчий пристрій ЗАР1 DTC для напруги 145 кВ. Siemens – 8 с.
11. 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.

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

13. Рішення АББ для розподільчих мереж. Каталог. АББ. Видання-2012. – 108 с

14. 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.

15. 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

16. Kim Y.H., Case K.E., Ghare P.M. A method for computing complex system reliability // IEEE Trans. Reliab. 1972. R21, 215 – 219