

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

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Виконав: студент 4 курсу групи Е-21б3
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Богдан ВАЩУК

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС
Олена СІКОРСЬКА

« 06 » 06 2025 р.

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

ЕСС ЕМ Ващенко О.В.
« ____ » ____ 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

« 06 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

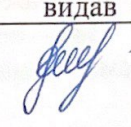
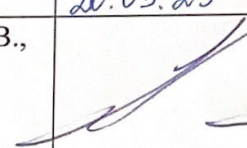
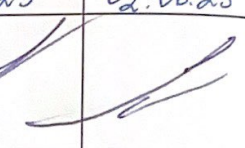
«20» 12 2025 р.

ЗАВДАННЯ **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Вашуку Богдану Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз засобів обмеження струмів короткого замикання
Керівник роботи к.т.н., доцент каф. ЕСС Сікорська О. В.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97
2. Термін подання студентом роботи 3 червня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи.
Посилання на періодичні видання.
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1 Засоби обмеження струмів короткого замикання. 2 Обмеження струмів короткого замикання схемними рішеннями. 3 Обмеження струмів короткого замикання струмообмежуючими комутаційними апаратами. 4 Охорона праці Висновки. Список використаних джерел. Додатки
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Титульний лист. 2. Засоби обмеження струмів КЗ. 3-4. Обмеження струмів короткого замикання схемними рішеннями. 5. Обмеження струмів короткого замикання струмообмежуючими комутаційними апаратами. 6. Особливості експлуатації струмообмежувальних реакторів. 7. Конструктивні особливості струмообмежувальних реакторів. 8. Схеми включення реакторів.

6. Консультанти розділів роботи

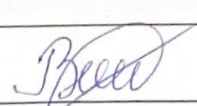
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Сікорська О. В., к.т.н., доцент кафедри ЕСС	 20.03.25	 02.06.25
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.пед.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 20» березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

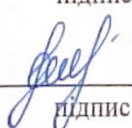
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Вступ. Огляд літературних джерел	20.03.25	31.03.25	вик
2	1 Засоби обмеження струмів короткого замикання	01.04.25	10.04.25	вик
3	2 Обмеження струмів короткого замикання схемними рішеннями	11.04.25	21.04.25	вик
4	3 Обмеження струмів короткого замикання струмообмежуючими комутаційними апаратами	22.04.25	04.05.25	вик
5	4 Охорона праці	05.05.25	14.05.25	вик
6	Формування висновків по роботі. Оформлення пояснювальної записки	15.05.25	24.05.25	вик
7	Виконання ілюстративної частини та оформлення презентації	25.05.25	27.05.25	вик
8	Перевірка БКР на плагіат.	28.05.25	31.05.25	вик
9	Попередній захист БКР. Рецензування БКР.	01.06.25	03.06.25	вик
10	Захист БКР	За графіком		

Студент


 підпис

Ващук Б.С.

Керівник


 підпис

Сікорська О.В.

АНОТАЦІЯ

Ващук Богдан Сергійович «Аналіз засобів обмеження струмів короткого замикання». Бакалаврська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вінниця: ВНТУ, 2025. 60 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 36 назв; рис.: 13, таб.8.

У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі було виконано аналіз засобів обмеження струмів короткого замикання та розглянуто особливості струмообмежуючого обладнання.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих чинників, що впливають на оперативно-ремонтний персонал, який здійснює оперативне та технічне обслуговування асинхронних двигунів.

Ключові слова: струм короткого замикання, струмообмежуючий реактор.

ABSTRACT

Vashchuk Bohdan Serhiyovych “Analysis of means of limiting short-circuit currents”. Bachelor's qualification work in the specialty 141 – “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”, educational program – “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”. Vinnytsia: VNTU, 2025. 60 p.

In Ukrainian. Bibliography: 36 titles; Fig.: 13, Tab.8.

In this bachelor's qualification work, an analysis of means of limiting short-circuit currents was performed and the features of current-limiting equipment were considered.

An analysis of dangerous and harmful factors affecting operational and repair personnel performing operational and technical maintenance of asynchronous motors was conducted.

Keywords: short-circuit current, current-limiting reactor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАСОБИ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	8
2 ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СХЕМНИМИ РІШЕННЯМИ	19
2.1 Схемні рішення для обмеження струмів короткого замикання в енергосистемах	19
2.2 Обмеження струмів короткого замикання шляхом оптимізації мережі.....	21
3 ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СТРУМООБМЕЖУЮЧИМИ КОМУТАЦІЙНИМИ АПАРАТАМИ	23
3.1 Загальна характеристика струмообмежувальних комутаційних апаратів	23
3.2 Струмообмежувальні реактори.....	28
3.3 Трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	40
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	40
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах.....	40
4.1.2 Електробезпека	45
4.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	48
4.2.1. Мікроклімат	48
4.2.2. Склад повітря робочої зони.....	48
4.2.3. Виробниче освітлення.....	49
4.2.4. Виробничий шум	50
4.3. Пожежна безпека	51
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Актуальність теми. Зі зростанням встановленої потужності електростанцій та одиничної потужності автотрансформаторів зв'язку збільшуються струми КЗ в мережі живлення ЕЕС. Змінюються також частотні характеристики ЕС, що призводять у ряді випадків до несприятливих змін напруги. Вимикальна здатність деяких вимикачів можна збільшити в результаті їх модернізації. Інші ж вимикачі необхідно замінювати на апарати більшої здатності, що вимикає, що пов'язано з проектуванням і подальшою реконструкцією енергетичних об'єктів. Через затримки у проведенні цих робіт в мережі живлення часто експлуатуються десятки вимикачів, відключаючи здатність яких не відповідає струмам КЗ.

У цьому випадку доводиться приводити струми КЗ у відповідність з здатністю вимикачів, що відключає.

Для обмеження струмів КЗ за значенням та тривалістю рекомендується: оптимізація структури та параметрів мережі (схемні рішення); стаціонарний та автоматичний поділ мережі; застосування струмообмежувальних пристроїв; оптимізація режиму заземлення нейтралів електричних мереж

Серед засобів обмеження струмів КЗ використовуються: пристрої автоматичного поділу мережі; струмообмежувальні реактори (некеровані, керовані, з лінійною або нелінійною характеристикою); трансформатори та автотрансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги; трансформатори із підвищеною напругою КЗ; безінерційні струмообмежувальні пристрої (СОП) різного типу (резонансні, реакторно-вентильні, з надпровідними елементами тощо); струмообмежувальні комутаційні апарати (наприклад, вимикачі з передвімкненим резистором тощо); струмообмежуючі резистори; вставки постійного струму; вставки змінного струму промислової частоти; автотрансформатори, що нормально виконані без третинної обмотки, з'єднаної в трикутник; розземлення нейтралі частини трансформаторів; заземлення нейтралів частини трансформаторів та

автотрансформаторів через реактори, резистори або інші струмообмежувальні пристрої; заміна на зв'язках розподільних пристроїв різної напруги автотрансформаторів трансформаторами; автоматичне розмикання в аварійних режимах третинних обмоток автотрансформаторів [1].

Основним рекомендованим способом обмеження струмів КЗ є секціонування мережі в нормальному робочому режимі з метою збільшення індуктивних опорів між розрахунковою точкою КЗ і джерелами, що генерують.

Для вузлів мережі, що мають розвинені зв'язки на кількох номінальних напругах, при високому рівні струму КЗ слід перевіряти можливість і доцільність секціонування мереж низьких напруг, зберігаючи мережу замкненої ВН.

У тих випадках, коли термічна та динамічна стійкість вимикача при наскрізних струмах КЗ вище від номінального струму відключення вимикача, слід застосовувати випереджальний поділ мережі (ОДС), розглядаючи його як тимчасовий захід до здійснення інших реконструктивних робіт постійного характеру.

Мета роботи: проаналізувати вплив різних технічних засобів на зниження струмів короткого замикання.

Предмет дослідження: різноманітні струмообмежуючі пристрої, що застосовуються в системах для оптимізації струмів короткого замикання.

Задачі які плануються розв'язати:

- класифікація засобів обмеження струмів короткого замикання;
- загальна характеристика відомих технічних засобів обмеження струмів короткого замикання;
- дослідження питань охорони праці з ціллю безпечної експлуатації об'єкта.

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

1 ЗАСОБИ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Зі зростанням встановленої потужності електростанцій та одиничної потужності автотрансформаторів зв'язку збільшуються струми КЗ в мережі живлення ЕЕС. Змінюються також частотні характеристики ЕС, що призводять у ряді випадків до несприятливих змін процесу напруги, що відновлюється. Вимикачі, що вимикають, повинні приводитися у відповідність зі змінами рівнів струмів КЗ.

Вимикальна здатність деяких вимикачів можна збільшити в результаті їх модернізації. Інші ж вимикачі необхідно замінювати на апарати більшої здатності, що вимикає, що пов'язано з проектуванням і подальшою реконструкцією енергетичних об'єктів. Через затримки у проведенні цих робіт в мережі живлення часто експлуатуються десятки вимикачів, відключаюча здатність яких не відповідає струмам КЗ [2].

У цьому випадку доводиться приводити струми КЗ у відповідність з здатністю вимикачів, що відключає.

Для цього можна використати декілька методів:

випереджальний поділ електричної мережі;

секціонування мережі;

обмеження числа заземлених нейтралів трансформаторів

Випереджальний поділ електричної мережі виконується на вимикачах РУ електростанцій. Його сутність полягає в тому, що перш ніж відключиться лінійний вимикач пошкодженої ПЛ, що має недостатню відключаючу здатність, відключається вимикач схеми комутації електростанції, наприклад міжшинний, який відокремлює від місця КЗ частина генеруючих джерел (перекладає їх роботу на місце КЗ через великий опір мережі).

В результаті струм КЗ знижується до величини, яку може вимкнути лінійний вимикач В2 (рис. 3.1). Після усунення пошкодження вимикач, який виконав випереджальний поділ, знову входить у роботу. Вимикач випереджального розподілу не відключає струм КЗ, а переводить його в іншу галузь схеми мережі. Тому впливом геть його надійність надає лише оперативне перемикання, яке значно нижче впливу відключення струму КЗ.

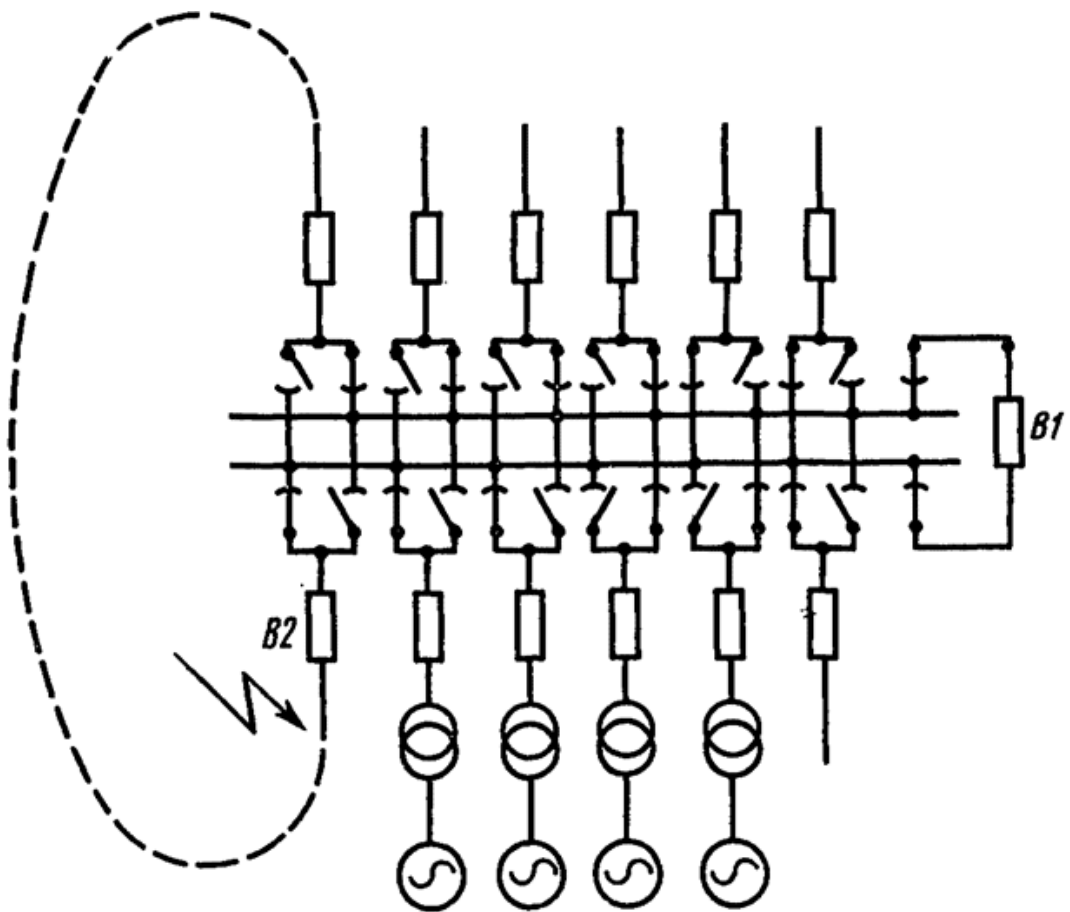


Рисунок 3.1 – Схема об'єкта, у якому застосовується автоматика зниження струмів КЗ

Щоб забезпечити селективне випереджувальне відключення, не використовуючи на лінійному вимикачі додаткову витримку часу, застосовують захист практично безінерційними електронними

вихідними органами, виконаними, наприклад, на тиристорах. Для цього на вимикачі випереджуючого поділу встановлюється захист, що виконує роль автоматики зниження струму КЗ (АЗСКЗ). Вона містить орган, що виявляє неприпустимий струм КЗ, та АПВ, що відновлює початкову схему.

Секціонування мережі живлення з метою зниження струмів КЗ може здійснюватися в мережі вторинної напруги (220 кВ і нижче), що живиться від міжсистемної мережі. У цьому випадку від автотрансформаторів зв'язку живляться райони мережі ЕЕС, що розмикаються у певних точках. Розташування нормальних розрізів вибирається таким, щоб одночасно задовольнялося вимога мінімізації втрат енергії в мережах.

Розмикання мережі живлення певною мірою знижує надійність її роботи. Щоб уникнути шкоди при аварійному відключенні джерела живлення в місцях нормальних розрізів встановлюють АВР, що включає розімкнений вимикач, який подає живлення від суміжної підстанції живлення при зникненні напруги. Розімкнені вимикачі повинні бути захищені від перенапруг.

Обмеження числа заземлених нейтралів трансформаторів у мережі 110 кВ провадиться для зниження та стабілізації струмів замикання на землю. Для різних схем ЕС, включаючи ремонтні, передбачаються трансформатори, нейтралі яких незаземлені (у автотрансформаторів зв'язку нейтралі мають бути заземлені). Від перенапруження незаземлені нейтралі захищаються розрядниками [3].

У зв'язку з тим, що ізоляція нейтралі трансформаторів не виконується на фазну напругу, а ізоляція фаз не відповідає лінійній напрузі, необхідно виключити можливість створення ситуацій, коли при

роботі генеруючих джерел і трансформаторів в аварійних умовах трансформатори виявляються в частині мережі без заземлених нейтралей. Тому нейтралі підвищують трансформаторів, які працюють у блоці з генераторами, заземлюються.

Заземлення нейтралів інших трансформаторів вибирається те щоб підтримувати струми замикання землі у певних межах і зберігати їх стабільність за умов, створених під час ремонтів трансформаторів (автотрансформаторів) і ПЛ.

Коротке замикання (КЗ) – це непередбачене конструкцією електричне з'єднання двох точок кола з різними потенціалами, що порушує його нормальну роботу. Воно може виникнути через порушення ізоляції струмопровідних елементів або механічного зіткнення неізованих частин. Також КЗ називають стан, коли опір навантаження менший за внутрішній опір джерела живлення.

У трифазних електричних мережах розрізняють такі види КЗ:

- Однофазне: замикання фази на землю.
- Двофазне: замикання двох фаз між собою.
- Двофазне на землю: дві фази замикаються між собою і одночасно на землю.
- Трифазне: замикання трьох фаз між собою.

В електричних машинах можливі такі КЗ:

- Міжвиткове: замикання між собою витків обмоток ротора або статора.
- Замикання обмотки на металевий корпус.

Для захисту від КЗ вживають спеціальних заходів:

- Обмеження струму КЗ:
 - Встановлення струмообмежувальних електричних реакторів.

- Застосування розпаралелювання електричних кіл (відключення секційних і шиноз'єднувальних вимикачів).
- Використання знижувальних трансформаторів з розщепленою обмоткою низької напруги.
- Використання відключаючого обладнання — швидкодіючих комутаційних апаратів з функцією обмеження струму КЗ (плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі).
- Застосування пристроїв релейного захисту для відключення пошкоджених ділянок кола.

Основною причиною виникнення КЗ є порушення ізоляції електрообладнання. Це може бути викликано:

1. Перенапругами (особливо в мережах з ізольованими нейтралями).
2. Прямими ударами блискавки.
3. Старінням ізоляції.
4. Механічними пошкодженнями ізоляції (наприклад, проїздом під лініями негабаритних механізмів).
5. Незадовільним доглядом за обладнанням.

Часто причиною пошкоджень в електричній частині електроустановок є некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу.

При реалізації спрощених схем з'єднань знижувальних підстанцій використовують спеціальні апарати – короткозамикачі [4]. Вони створюють навмисні КЗ з метою швидкого відключення пошкоджень, що виникли. Таким чином, поряд з випадковими КЗ в системах електропостачання існують і навмисні, викликані дією короткозамикачів.

При виникненні КЗ у системі електропостачання її загальний опір зменшується, що призводить до збільшення струмів у гілках порівняно зі

струмами нормального режиму. Це, своєю чергою, викликає зниження напруги в окремих точках системи, яке особливо значне поблизу місця КЗ.

Залежно від місця виникнення та тривалості пошкодження його наслідки можуть мати місцевий характер або відбиватися на всій системі електропостачання.

При великій віддаленості КЗ, величина струму КЗ може становити незначну частину номінального струму живлячих генераторів, і його виникнення сприймається ними як невелике збільшення навантаження. Сильне зниження напруги відбувається лише поблизу місця КЗ, тоді як в інших точках системи це зниження менш помітне. Отже, за таких умов небезпечні наслідки КЗ проявляються лише в найближчих до місця аварії частинах системи.

Навіть якщо струм КЗ малий порівняно з номінальним струмом генераторів, він зазвичай у багато разів перевищує номінальний струм гілки, де сталося КЗ. Тому навіть при короткочасному протіканні струм КЗ може спричинити додатковий нагрів струмопровідних елементів вище допустимого.

Струми КЗ викликають між провідниками великі механічні зусилля, які особливо значні на початку процесу КЗ, коли струм досягає максимального значення. При недостатній міцності провідників та їхніх кріплень можуть статися руйнування механічного характеру.

Раптове глибоке зниження напруги при КЗ відбивається на роботі споживачів. Це передусім стосується двигунів, оскільки навіть при короткочасному зниженні напруги на 30-40% вони можуть зупинитися (відбувається перекидання двигунів). Перекидання двигунів важко відбивається на роботі промислового підприємства, оскільки для

відновлення нормального виробничого процесу потрібен тривалий час, а несподівана зупинка двигунів може викликати брак продукції.

При малій віддаленості та достатній тривалості КЗ можливе випадання із синхронізму паралельно працюючих станцій, тобто порушення нормальної роботи всієї електричної системи, що є найнебезпечнішим наслідком КЗ [5].

Неврівноважені системи струмів, що виникають при замиканнях на землю, здатні створити магнітні потоки, достатні для наведення в сусідніх ланцюгах (лініях зв'язку, трубопроводах) значних електрорушійних сил (ЕРС), небезпечних для обслуговуючого персоналу та апаратури цих ланцюгів.

Таким чином, наслідки коротких замикань наступні:

1. Механічні та термічні пошкодження електрообладнання.
2. Займання в електроустановках.
3. Зниження рівня напруги в мережі, що веде до зменшення обертового моменту електродвигунів, їх гальмування, зниження продуктивності або навіть до їхнього перекидання.
4. Випадання із синхронізму окремих генераторів, електростанцій та частин електричної системи, і виникнення аварій, включаючи системні аварії.
5. Електромагнітний вплив на лінії зв'язку, комунікації тощо.

Зростання рівня струмів короткого замикання (КЗ) диктує підвищені вимоги до електродинамічної та термічної стійкості елементів електротехнічних пристроїв енергосистем, а також до комутаційної здатності електричних апаратів.

Останнім часом набуває актуальності питання впливу струмів КЗ не лише на жорсткі шини, кабелі та електричні апарати, а й на

генератори, силові трансформатори, а також гнучкі провідники розподільних пристроїв.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), шини розподільних пристроїв мають проходити перевірки на можливість схльостування або небезпечного зближення фазних струмопроводів. Це відбувається через їх розгойдування під дією електродинамічних сил при потужностях і струмах КЗ, що дорівнюють або перевищують зазначені значення в таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 – Значення допустимих струмів

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	110	150	220	330	500
$S^{(3)}, \text{МВА}$	4	6	8	12	18
$I^{(3)}, \text{кА}$	21	23	21	21	21

Зростання рівня струмів короткого замикання (КЗ) є чи не основною причиною зниження експлуатаційної надійності силових трансформаторів. Варто зазначити, що у понад 70% випадків пошкоджень трансформаторів причиною була їхня невідповідна електродинамічна стійкість до наскрізних струмів КЗ [6].

Для зниження впливу струмів КЗ в електрообладнанні було запропоновано та впроваджено різноманітні засоби їх обмеження. Зважаючи на специфіку розвитку сучасних об'єднаних енергосистем, питання стійкості та надійності їх роботи, а також їхні техніко-економічні характеристики, вимагають розробки та дослідження принципово нових засобів струмообмеження. Ці засоби дозволяють обмежити не тільки величину струму КЗ, а й його тривалість.

Вирішити зазначену задачу можна такими способами:

- Збільшенням швидкодії традиційної комутаційної апаратури.
- Створенням та впровадженням нових швидкодіючих комутаційних апаратів, здатних протягом першого напівперіоду обмежити та відключити струм КЗ.

Умови протікання, обмеження та відключення струму КЗ наочно показані на рис. 1.1. При використанні в мережі чотириперіодних вимикачів струм КЗ відключається у моменти А або А' залежно від швидкодії релейного захисту. Впровадження двоперіодних вимикачів дозволяє відключити струм КЗ у моменти Б або Б'. Використання вимикачів з природною комутацією дозволяє відключити струм КЗ у момент В, тобто при першому переході струму через нуль.

Як, видно, перехід від чотири- до двоперіодних, а потім і до синхронізованих вимикачів дозволяє знизити термічну дію струму КЗ на електроустаткування. Однак це не обмежує максимальну електродинамічну дію, яка визначається ударним струмом; останній у зазначених випадках не обмежується.

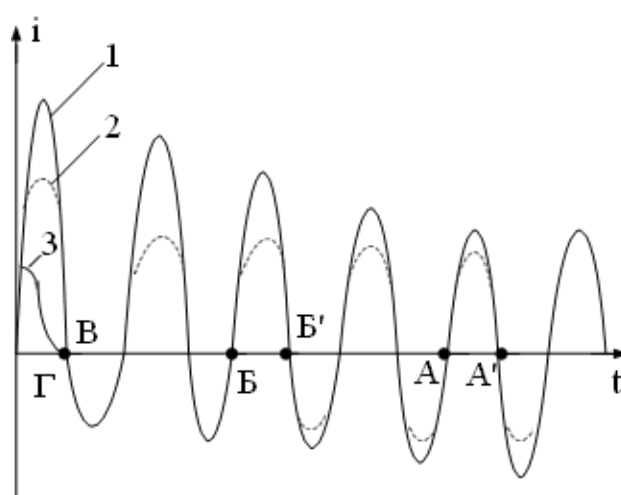


Рисунок 1.1 – Умови обмеження і відключення струму КЗ:

- 1- струм КЗ в ланцюзі; 2 - обмеження струму КЗ безінерційним СП;
3 - обмеження струму КЗ струмообмежуючим комутаційним апаратом

Електродинамічну дію струму короткого замикання (КЗ) можна зменшити, використовуючи струмообмежувальні комутаційні апарати. До них належать тиристорні вимикачі з примусовою комутацією, обмежувачі ударного струму вибухової дії та струмообмежувальні запобіжники [7]. Ці пристрої дозволяють обмежити, а потім відключити струм КЗ у момент Γ (крива 3).

Для зниження термічного та електродинамічного впливу струму КЗ можна застосовувати безінерційні струмообмежувальні пристрої (БСП), такі як реактори або резонансні струмообмежувальні пристрої (крива 2). Щоб зменшити термічну дію струму КЗ і спростити роботу комутаційної апаратури, також можуть використовуватися інерційні струмообмежувальні пристрої, наприклад, пристрої автоматичного ділення мережі або реактори, що нормально зашунтовані вимикачем.

Найбільше обмеження впливу струму КЗ досягається за допомогою безінерційних струмообмежувальних комутаційних апаратів. Однак наразі це рішення стримується або відсутністю таких апаратів з необхідними параметрами та експлуатаційними характеристиками, або їхньою високою вартістю. Тому потрібні розробки та зниження вартісних показників синхронізованих вимикачів та безінерційних струмообмежувальних пристроїв [8].

Як засоби обмеження струмів КЗ використовуються або можуть бути використані:

- Пристрої автоматичного ділення мережі.
- Струмообмежувальні реактори (некеровані та керовані, з лінійною або нелінійною характеристикою).
- Трансформатори та автотрансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги.

- Трансформатори з підвищеною напругою короткого замикання.
- Безінерційні струмообмежувальні пристрої різного типу (резонансні, реакторно-вентильні, з надпровідними елементами тощо).
- Струмообмежувальні комутаційні апарати.
- Струмообмежувальні резистори.
- Вставки постійного струму.
- Вставки змінного струму непромислової частоти.
- Автотрансформатори, нормально виконані третинної обмотки, сполученої в трикутник.
- Розземлення нейтралей частини трансформаторів.
- Заземлення нейтралей частини трансформаторів та автотрансформаторів через реактори, резистори або струмообмежувальні пристрої.
- Заміна автотрансформаторів на трансформатори на зв'язках розподільних пристроїв різної напруги.
- Автоматичне розмикання в аварійних режимах третинних обмоток автотрансформаторів.

Залежно від місцевих умов, необхідного рівня обмеження струмів при різних видах КЗ, а також від техніко-економічних характеристик, для обмеження струмів КЗ в окремих електроустановках або в конкретних мережах енергосистеми можуть знадобитися різноманітні засоби струмообмеження або їх комбінування, що дає найбільший техніко-економічний ефект.

Наразі у вітчизняних енергосистемах для зниження струмів КЗ використовуються: стаціонарний та автоматичний поділ мережі, струмообмежувальні реактори, трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги, а також розземлення нейтралей частини силових трансформаторів. Інші засоби обмеження струмів КЗ перебувають на стадії дослідження та проектування.

2 ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СХЕМНИМИ РІШЕННЯМИ

2.1 Схемні рішення для обмеження струмів короткого замикання в енергосистемах

Схемні рішення узгоджуються на стадії проектування схем розвитку енергосистем, а також при проектуванні потужних електростанцій та схем розвитку мереж підвищеної напруги. Вони передбачають регулювання ступеня зв'язку або жорсткості електричних зв'язків між мережами. Суть схемних рішень полягає у виборі оптимальних (за заданих умов та обмежень) схем видачі потужності електростанцій, а також структури та параметрів елементів мереж енергосистем [9].

Схемні рішення передусім стосуються принципових схем видачі потужності електростанцій. Сьогодні, у зв'язку з включенням в енергосистеми генераторів потужністю 300-1200 МВт та збільшенням одиничних потужностей електростанцій до 3600-6400 МВт, відбувся перехід від схеми видачі потужності (рис. 2.1,а) до схеми (рис. 2.1,б), а потім до схеми (рис. 2.1,в).

У схемі, показаній на рис. 2.1,а, характерній для ТЕЦ з генераторами потужністю 30-100 МВт, виникли значні труднощі з обмеженням струмів КЗ у мережах нижчої та середньої напруги.

При схемі, показаній на рис. 2.1,б, характерній для блокових електростанцій з генераторами потужністю 100-300 МВт, найбільший рівень струмів КЗ спостерігається у мережі середньої напруги, менший — у мережі вищої напруги, тоді як у мережі нижчої напруги рівень струмів КЗ стабілізується.

При схемі, наведеній на рис. 2.1,в, характерній для блокових електростанцій з генераторами потужністю 500-1200 МВт, найбільше зростання рівня струму КЗ спостерігається у мережі вищої напруги (500-750 кВ), менше — у мережі середньої напруги і ще менше — у мережі нижчої напруги.

Таким чином, регулювання схеми видачі потужності електростанцій впливає на темп зростання рівнів струмів КЗ у мережах різної напруги енергосистем. При цьому в мережах нижчої напруги можуть бути створені регіони зі стабільним максимальним рівнем струмів КЗ.

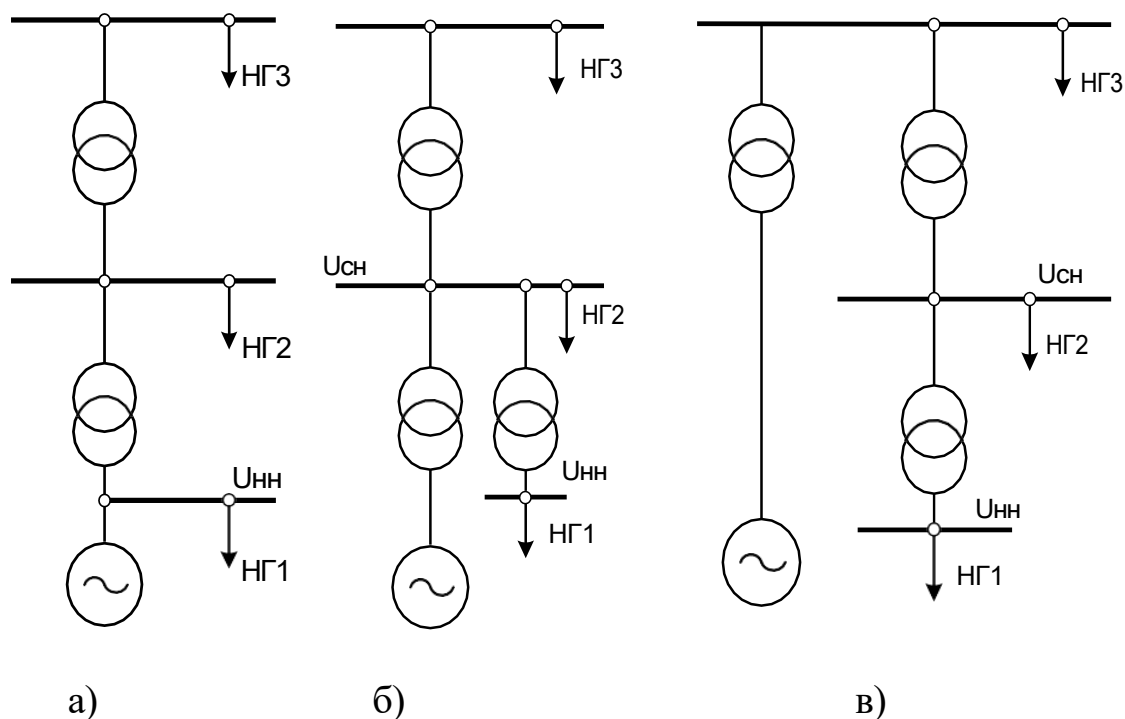
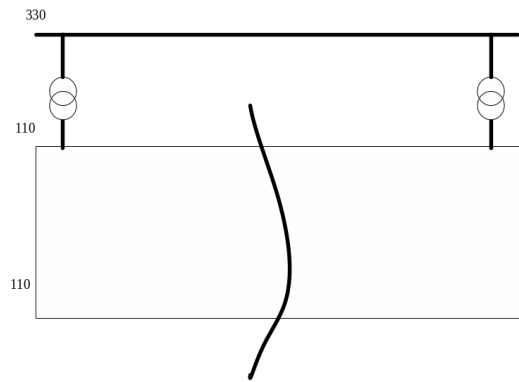


Рисунок 2.1 – Принципові схеми видачі потужності електростанцій

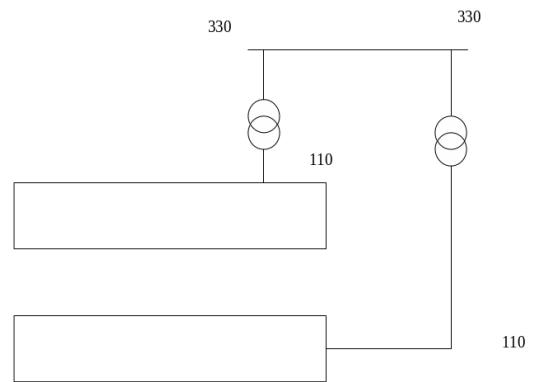
2.2 Обмеження струмів короткого замикання шляхом оптимізації мережі

Ефективним схемним рішенням, що обмежує збільшення рівнів струмів короткого замикання, є оптимізація структури мережі. Для кожної структури, з урахуванням параметрів елементів мережі, при збереженні інших рівних факторів (площа живлення, загальне навантаження, підключена потужність генеруючих джерел), характерними є значення максимального ступеня струмів короткого замикання, крива розподілу струмів короткого замикання по вузлах мережі та характер збільшення рівнів струмів короткого замикання під час розвитку мережі [10]. Схемні рішення можуть включати:

- відокремлення частини території мереж однакової напруги, з'єднаних виключно високовольтною мережею (рис. 2.2, а),- так зване периферійне або поздовжнє розділення мережі;
- накладання мереж однакової напруги на площу нашого регіону з підключенням цих мереж через високовольтну мережу (рис. 2.2, б) - тобто локальне або поперечне розділення мережі. Отриманий результат дозволяє при великому збільшенні навантаження отримати мережу зі стабільним максимальним рівнем струмів короткого замикання;
- поділ електростанцій (за потужністю);
- поділ вузлів мережі (за виробленою потужністю), а саме поділ високовольтних розподільчих щитів на окремі частини зі збереженням паралельної роботи вузловими підстанціями мережі, а також перехід частини блоків електростанції на мережу вищої напруги;
- використання розширених структурних схем генератор-трансформатор-лінія.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Варіанти схемних рішень.

а - подовжнє розділення мережі; б - поперечне розділення мережі.

3 ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СТРУМООБМЕЖУЮЧИМИ КОМУТАЦІЙНИМИ АПАРАТАМИ

3.1 Загальна характеристика струмообмежувальних комутаційних апаратів

Струмообмежувальні комутаційні апарати призначені для обмеження струму короткого замикання (КЗ) протягом першого півперіоду його виникнення, а потім негайно відключають КЗ. Якщо струм КЗ значний, але очікуваний струм КЗ не перевищує комутаційної здатності апарата, то виконується умова:

$$i_{\text{скріз}} < i_{\text{уд.о}} , \quad (3.1)$$

де $i_{\text{скріз}}$ - крізний струм ланцюга при КЗ; $i_{\text{уд.о}}$ - очікуваний ударний струм ланцюга при КЗ.

Таким чином, струмообмежувальні комутаційні апарати, до яких належать, зокрема, струмообмежувальні запобіжники різних типів і обмежувачі ударного струму вибухової дії, обмежують ударний струм КЗ, тобто мають властивість безінерційної дії (див. рис. 2.1).

Силові струмообмежувальні запобіжники для внутрішньої та зовнішньої установки виготовляються на напруги 3–35 кВ (типів ПК і ПKE) та на відносно невеликі номінальні струми (див. рис. 3.1). Для них справедлива залежність:

$$i_{\text{скріз}} = f(I_{\text{п0}} , I_{\text{ном}}). \quad (3.2)$$



Рисунок 3.1 – Запобіжник ПKE (ПЕ)

Струмообмежувальні запобіжники вирізняються простотою конструкції та, як наслідок, відносно невисокою вартістю. Проте, запобіжники мають низку суттєвих недоліків: вони є одноразовими, мають нестабільні струмочасові характеристики, недостатню експлуатаційну надійність, обмежену зону використання за величиною номінальних струмів і напруг, некерованість від зовнішніх пристроїв (зокрема, від пристроїв релейного захисту), а також труднощі зі здійсненням циклу автоматичного повторного включення (АПВ) захищеного ланцюга [11]. З огляду на зазначене, сфера застосування існуючих струмообмежувальних запобіжників має конструктивні обмеження. Як правило, їх встановлюють у ланцюгах менш відповідальних споживачів.

Струмообмежувальні запобіжники приваблюють своєю простотою конструкції та, як наслідок, відносно невеликою вартістю. Однак вони мають низку істотних недоліків:

- Одноразова дія: їх необхідно замінювати після спрацьовування.

- Нестабільні струмочасові характеристики: це ускладнює точне прогнозування їхньої поведінки.
- Недостатня експлуатаційна надійність.
- Обмежена зона використання за величиною номінальних струмів та напруг.
- Неможливість керування від зовнішніх пристроїв, зокрема від пристроїв релейного захисту.
- Складність здійснення циклу АПВ (автоматичного повторного включення) захищуваного ланцюга.

Через ці обмеження струмообмежувальні запобіжники зазвичай встановлюють у ланцюгах менш відповідальних споживачів. Вони можуть використовуватися як основні струмообмежувальні апарати, що включаються безпосередньо в захищуваний ланцюг, або як допоміжні шунтуючі апарати, наприклад, для шунтування секційних або лінійних реакторів електроустановки в нормальному режимі [12].

Обмежувачі ударного струму вибухової дії — це надшвидкодіючі керовані комутаційні апарати одноразової дії з відносно великим номінальним струмом, розроблені в багатьох країнах (дивись рис. 3.2).

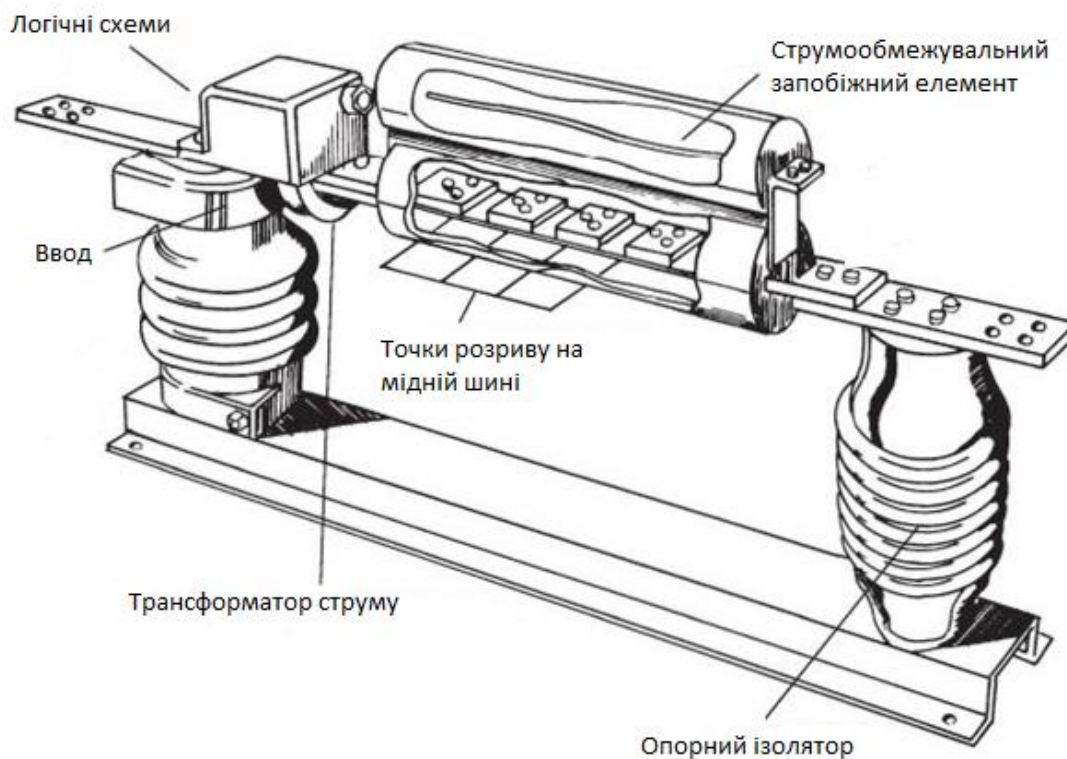


Рисунок 3.2 – Комутаційний обмежувач ударного струму

Конструктивно такий обмежувач є герметизованим циліндром, всередині якого розташований струмопровідний провідник із вмонтованим піропатроном. Сигнал на вибух піропатрона надходить від зовнішнього керуючого пристрою, який отримує інформацію про КЗ від вимірювального органу, що реагує на величину струму КЗ та його першу похідну. Обмеження струму КЗ досягається за час близько 0,5 мс. Повний час відключення ланцюга становить приблизно 5 мс, тобто чверть періоду промислової частоти [13]. Варіанти схем їх включення показано на рисунку 3.3.

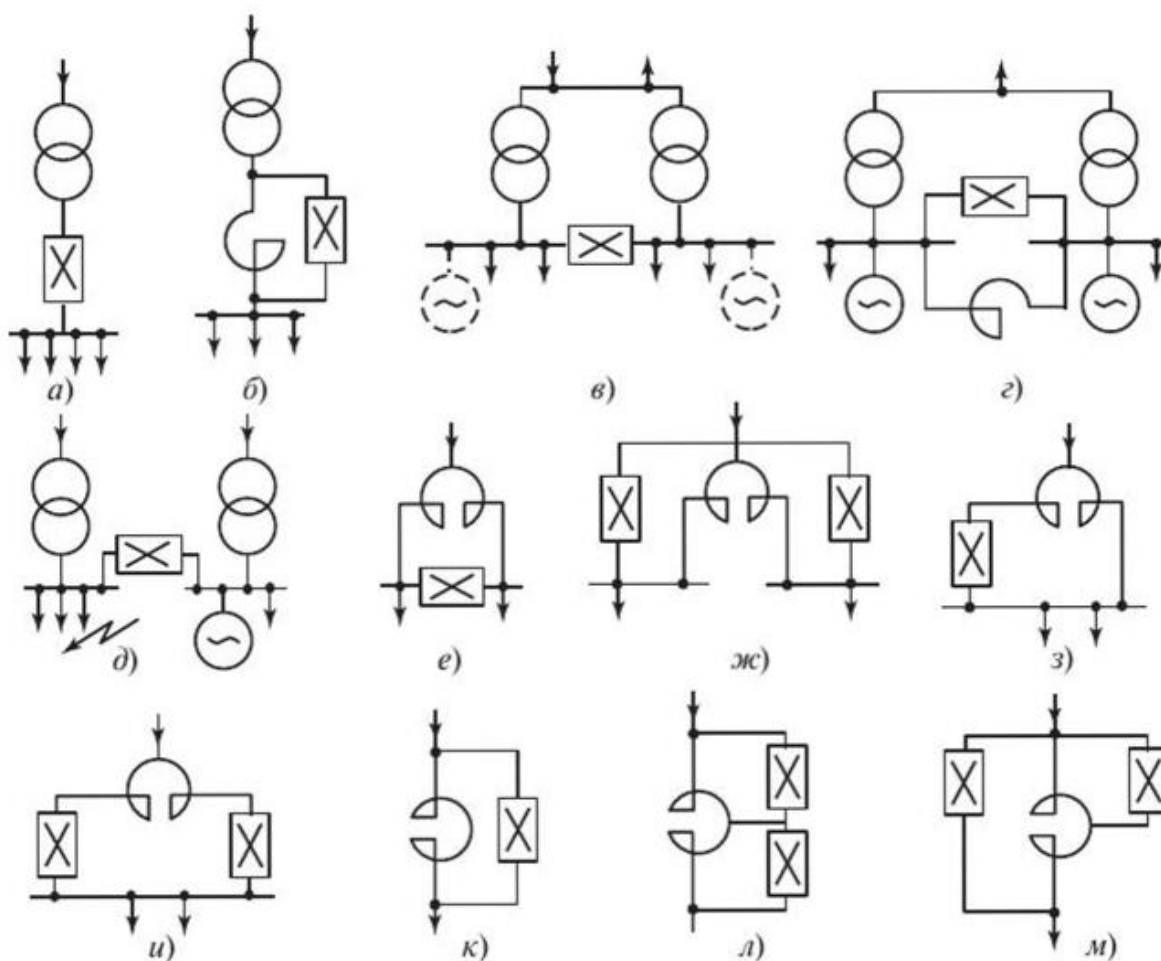


Рисунок 3.3 – Варіанти схеми включення обмежувачів ударного струму

Щоб уникнути перенапруг у мережі при такому швидкому відключенні струму КЗ, вибуховий елемент обмежувача ударного струму шунтується плавким запобіжником спеціальної конструкції. Випробування показали, що при цьому перенапруги не перевищують 18% фазної напруги мережі. Обмежувачі ударного струму можуть також оснащуватися органом напряду потужності, що розширює сферу їх застосування [14].

У порівнянні зі струмообмежувальними запобіжниками, обмежувачі ударного струму мають низку переваг:

- Керованість від зовнішніх пристроїв.

- Спрямованість дії.
- Відносно великі номінальні струми.
- Стабільність характеристик.
- Підвищена експлуатаційна надійність.
- Можливість здійснення двофазного або трифазного відключення ланцюга.

Проте, як і запобіжники, обмежувачі ударного струму є одноразовими. Крім того, на них складно, хоча й можливо, здійснити цикл АПВ. Область використання обмежувачів ударного струму, що випускаються на даний час, обмежена мережами з напругою 0,66-35 кВ. Суттєвими недоліками обмежувачів ударного струму є складність системи їх управління та відносно висока вартість.

3.2 Струмообмежувальні реактори

Струмообмежувальні реактори можуть мати різне конструктивне виконання, а також відрізнятися технічними та техніко-економічними характеристиками [15]. Їх можна класифікувати за кількома ознаками:

- За характеристикою: з лінійною, нелінійною, обмежено-лінійною або квазілінійною характеристикою.
- За наявністю сталі: без сталі (без магнітопроводу) та зі сталлю.
- За системою магнітопроводу: зі стрижневою, броньовою, бронестрижневою, тороїдальною, циліндричною.
- За регулюванням: нерегульовані, регульовані, керовані.
- За підмагнічуванням: з подовжнім, поперечним і кільцевим підмагнічуванням.
- За ізоляцією: з масляною або сухою ізоляцією (бетонні реактори).

- За призначенням: секційні, лінійні та заземлюючі.
- За кількістю: одинарні та здвоєні.

Наразі в енергосистемах для обмеження струмів КЗ застосовуються лише нерегульовані реактори з лінійною характеристикою. Можливі схеми включення показано на рисунку 3.4.

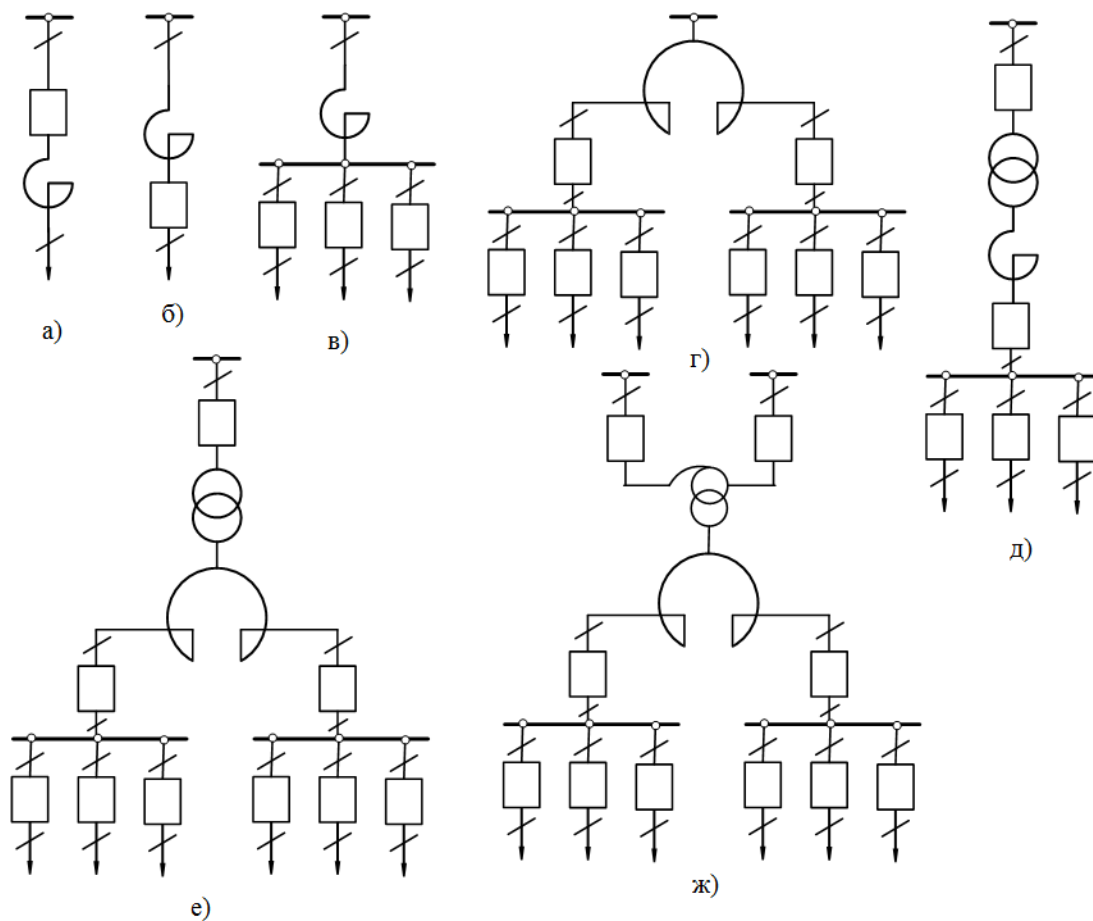


Рисунок 3.4 – Варіанти схем включення лінійних і секційних реакторів

У мережах 6-10 кВ використовують одинарні та здвоєні бетонні реактори, а в мережах 35-220 кВ — масляні реактори. Можливість створення та доцільність використання конкурентоспроможних реакторів інших типів наразі досліджується в ряді організацій.

Характерними параметрами реакторів з лінійною характеристикою є:

- Номінальна напруга ($U_{\text{ном}}$).
- Номінальний струм ($I_{\text{ном}}$).
- Опір реактора (x_p), що вимірюється в Омах або у відсотках.

Електропромисловість постачає різноманітні струмообмежувальні реактори з такими параметрами:

- Для напруг 6–10 кВ:
 - Одинарні: номінальний струм ($I_{\text{ном}}$) від 0,4 до 4,0 кА, реактивний опір (x_p) від 3% до 12%.
 - Здвоєні: номінальний струм ($I_{\text{ном}}$) від $2 \cdot 0,6$ до $2 \cdot 3,0$ кА, реактивний опір (x_p) від 4% до 15%.
- Для напруг 35 кВ: $I_{\text{ном}}$ від 0,2 до 1,0 кА, x_p від 6% до 10%.
- Для напруг 110 кВ: $I_{\text{ном}}$ від 0,65 до 1,35 кА, x_p від 15% до 16%.
- Для напруг 220 кВ: $I_{\text{ном}}$ 0,325 кА, x_p 12%.

Струмообмежувальна дія реактора визначається його опором (в Омах), який прямо пропорційний відносній реактивності та обернено пропорційний номінальному струму реактора [16]. Це можна виразити формулою:

$$x_p = \frac{x_p(\%) \cdot U_{\text{ном}}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{ном}}} = x_p \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном}}} \quad (3.3)$$

Лінійний реактор, що послідовно вмикається у відповідну лінію (приєднання), ефективно обмежує струм короткого замикання (КЗ) і підтримує відносно високий рівень залишкової напруги у вузлах попередньо увімкненої мережі (рис 3.5).



Рисунок 3.5 – Лінійний реактор

Однак у нормальному режимі його роботи виникають втрати активної та реактивної потужності, втрати енергії, а також падіння та втрата напруги (рис. 3.6).

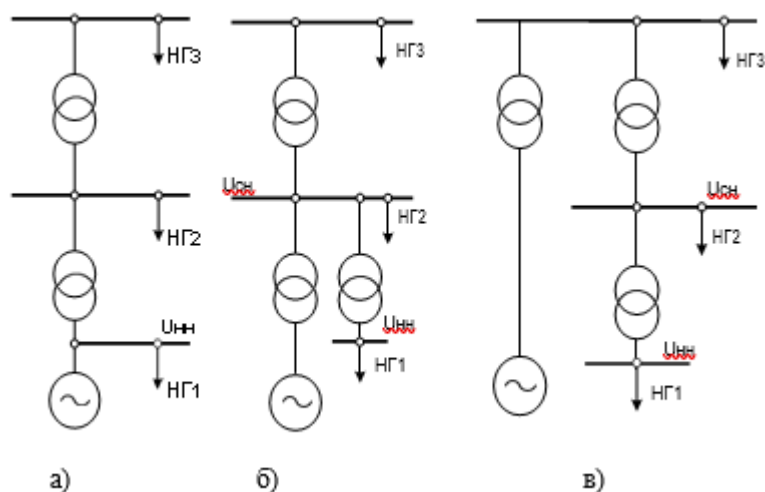


Рисунок 3.3 – Режимы работы здвоєних реакторів

Здвоєні реактори (див. рисунок 3.7) демонструють кращі характеристики щодо втрат напруги та реактивної потужності. Ці реактори мають виведену центральну точку обмотки [17]. Завдяки наявності магнітного зв'язку між витками реактора вдається зменшити втрати напруги в реакторі в нормальному режимі, при цьому не знижуючи його струмообмежувальну здатність під час короткого замикання в мережі.



Рисунок 3.7 – Здвоєний реактор

Керовані реактори — це різновид регульованих реакторів, що містять сталевий магнітопровід. Їхні параметри змінюються завдяки підмагнічуванню магнітопроводу, зазвичай за допомогою поля постійного або випрямленого струму.

Розрізняють керовані реактори з поздовжнім, поперечним та кільцевим підмагнічуванням. Завдяки спеціальним схемам з'єднання обмоток або їхньому взаємному розташуванню, в цих реакторах забезпечується розв'язка індуктивних зв'язків між ланцюгами постійного та змінного струмів. Реактори з кільцевим підмагнічуванням додатково володіють магнітною симетрією, що дозволяє отримати практично синусоїдальний струм (без гармонік) у широкому діапазоні зміни струму підмагнічування.

Для оцінки можливих параметрів керованих реакторів використовують криві подвійного намагнічування феромагнітних матеріалів [18].

Керовані реактори характеризуються двома ключовими коефіцієнтами:

- Коефіцієнт регулювання ($k_{рег}$): Він показує ступінь зниження опору реактора завдяки підмагнічуванню при номінальному струмі в обмотці змінного струму.
- Коефіцієнт струмообмеження ($k_{со}$): Цей коефіцієнт характеризує ступінь збільшення опору реактора при розрахунковому струмі $KЗ$ у ланцюзі порівняно з опором реактора в нормальному режимі (за номінального струму в обмотці змінного струму та відповідного струму підмагнічування в обмотці постійного струму):

$$k_{рег} = x_1/x_2 \text{ і } k_{то} = x_3/x_2 . \quad (3.4)$$

Розроблені в ряді організацій керовані реактори різних типів і конструкцій мають:

$$k_{\text{рег}} \approx 8 \div 10 \text{ і } k_{\text{то}} \approx 4 \div 7. \quad (3.5)$$

Самонасичувальний реактор — це некерований реактор із нелінійною характеристикою (зі сталлю), нелінійність якої зумовлена насиченням магнітної системи або її частини полем обмотки змінного струму. Він складається з магнітопроводу (замкнутого або з повітряними зазорами) певної конструкції та розміщеної на ньому обмотки змінного струму.

Опір реактора нелінійно залежить від струму його обмотки. За відсутності повітряних зазорів ця залежність подібна до залежності $\mu=f(H)$ (магнітна проникність від напруженості магнітного поля).

Самонасичувальний реактор може працювати як на висхідній, так і на низхідній частинах своєї характеристики $x_p=f(I)$ (опір від струму).

На висхідній частині характеристики: Еквівалентний опір реактора зростає зі збільшенням струму і може змінюватися в межах від x_4 до x_5 . Цей режим є кращим, оскільки дозволяє отримати бажаний струмообмежувальний ефект без появи нелінійних спотворень параметрів режиму. Однак, забезпечення роботи реактора на цій ділянці в широкому діапазоні зміни струму є технічно та економічно складним [19].

На низхідній частині характеристики: Опір реактора зменшується зі збільшенням струму і може змінюватися в межах від x_5 до x_6 . У цьому режимі вдається отримати регулюючий ефект, але при цьому з'являються нелінійні спотворення параметрів режиму. На цій частині

характеристики також можливо отримати струмообмежувальний ефект, якщо зі збільшенням струму реактора буде забезпечено зменшення напруженості магнітного поля в магнітопроводі.

В даний час широкого застосування отримали струмообмежувальні бетонні реактори з алюмінієвою обмоткою марки РБ (рис. 3.8). Витки обмотки (1) ізолювані один від одного, намотані на спеціальний каркас і укріплені в бетонних колонах (2), які запобігають їх зсуву під дією власної маси та електродинамічних зусиль при протіканні струмів КЗ. Від заземлених конструкцій, а при вертикальному встановленні - і від сусідніх фаз, реактори ізолюються за допомогою опорних ізоляторів (3). Бетонні реактори випускаються на номінальні струми до 4000 А і виготовляються для вертикальної (рис.3.9, а), ступінчастої (рис.3.9, б) та горизонтальної установки (рис.3.9, в).

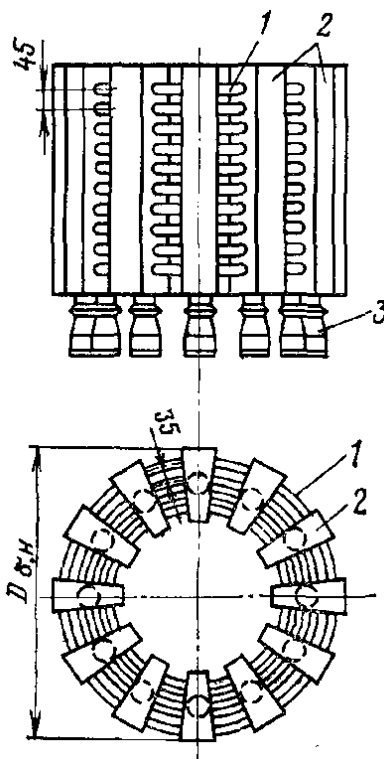


Рисунок 3.8 – Конструкція бетонного реактора серії РБ: 1 - обмотка реактора; 2 - бетонні колони

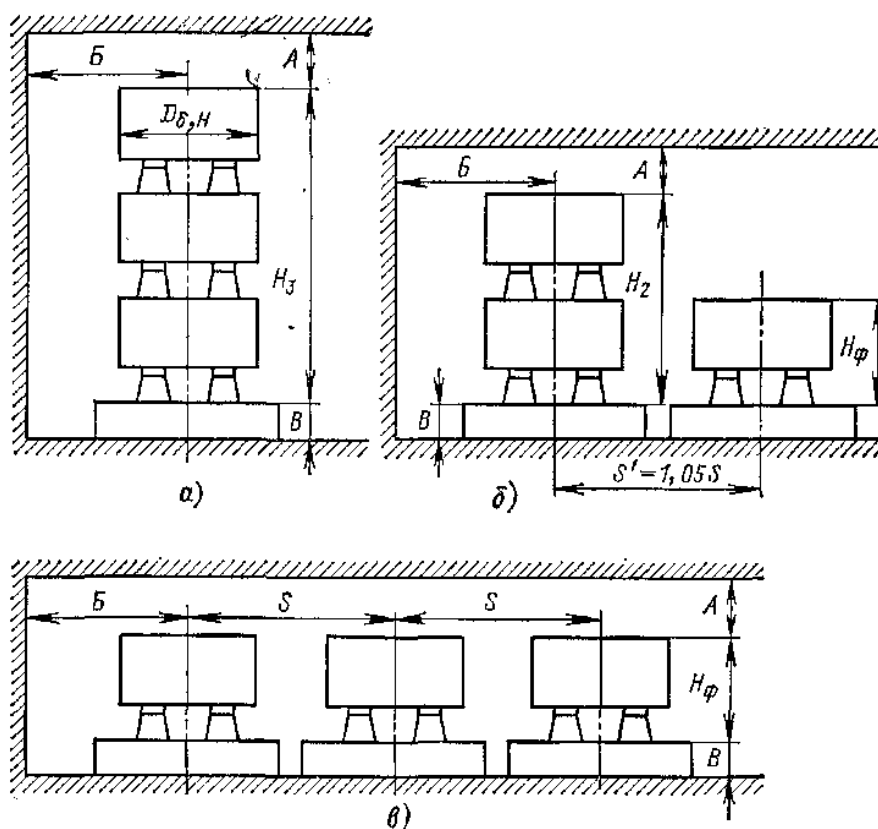


Рисунок 3.9 – Варіанти монтажу реакторів: а - вертикальний монтаж; б - ступінчастий; в - горизонтальний

При великих номінальних струмах з метою зниження втрат активної потужності у самих реакторах вони виконуються зі штучним охолодженням.

3.3 Трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги

На електростанціях та підстанціях широко застосовуються силові трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги (рис. 3.8). Це дозволяє значно знизити струм короткого замикання (КЗ) в мережі нижчої напруги.

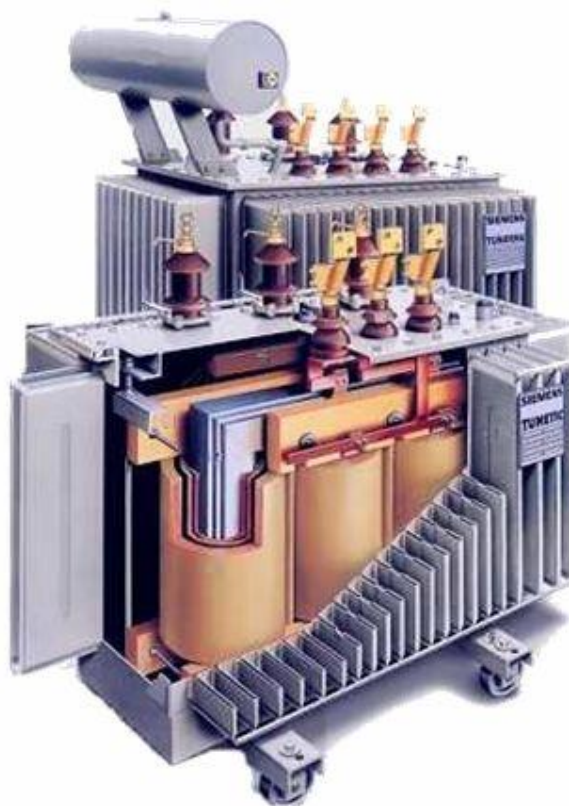


Рисунок 3.8 – Силовий трансформатор

Підвищувальні трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги використовуються для формування укрупнених блоків електростанцій, зокрема на гідроелектростанціях (ГЕС).

Знижувальні трансформатори застосовуються на підстанціях енергосистем та промислових підприємств. Крім того, понижувальні трансформатори використовуються в системі власних потреб потужних теплових та атомних електростанцій [20].

Характерні схеми з'єднання силових трансформаторів з обмоткою нижчої напруги, розділеною на дві або три частини, та відповідні їм схеми заміщення, наведені на рис. 3.8.

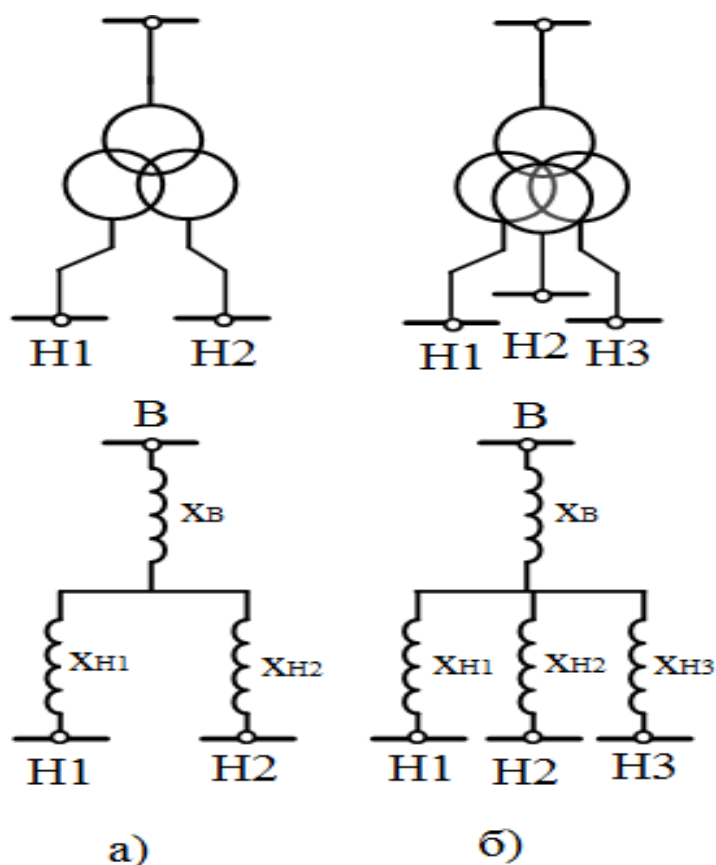


Рисунок 3.8 – Схеми заміщення силових трансформаторів з розщепленою обмоткою нижчої напруги: а - трансформатор з розщепленням обмотки на дві частини; б- трансформатор з розщепленням обмотки на три частини

Специфічним параметром для таких трансформаторів є опір розщеплення ($x_{роз}$), який дорівнює опору між виводами двох довільних частин розщепленої обмотки. Зазвичай, частини розщепленої обмотки є повністю ідентичними.

$$x_{роз} = x_{H1-H2} = x_{H1-H3} = x_{H2-H3} \quad (3.6)$$

Наскрізний опір $x_{наск}$ рівний опору між виводами обмотки вищої напруги (або об'єднаними виводами обмоток вищої і середньої напруги) і

об'єднаними виводами частин розщепленої обмотки нижчої напруги; коефіцієнт розщеплення $k_{роз}$, рівний відношенню опору розщеплення до наскрізного опору:

$$k_{роз} = x_{роз}/x_{скв} \quad (3.7)$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці під час організації обслуговування та діагностування струмообмежуючого реактора. Отже, на оперативно-ремонтний персонал підстанції, що здійснює обслуговування струмообмежуючого реактора, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [21, 22]:

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

- хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

- фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Живлення обладнання для власних потреб і системи освітлення здійснюється від трифазної мережі з ізолюваною нейтраллю 6 кВ і

чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – з підвищеною небезпекою, адже в цехах – струмопровідна підлога.

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає вимогам з урахуванням показників пожежовибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон) [23, 24].

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і

пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектної організації і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу. При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з ПВЕ (як для пересувних механізмів).

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування

електронагрівальних приладів. В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

Виводи обмоток, кабельні воронки та всі обертові частини електродвигунів (контактні кільця, шківви, муфти, вентилятори) слід огорожувати. Забороняється знімати ці огороження під час роботи електродвигуна.

Вмикати та вимикати електродвигуни пусковою апаратурою з приводами ручного керування необхідно в діелектричних рукавичках.

У разі виконання роботи на електродвигуні або механізмі, який приводиться ним у рух, що пов'язана з дотиком до струмовідних або обертових частин, з електродвигуна слід зняти напругу, а кабель, що живить його, слід заземлити. Роботи, що не пов'язані з дотиком до струмовідних або обертових частин електродвигуна чи механізму, який приводиться ним у рух, можуть проводитись на працюючому електродвигуні за розпорядженням або в порядку поточної експлуатації.

У разі виконання роботи на електродвигуні заземлення можна встановлювати на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з РУ (збіркою). У разі виконання робіт на механізмі, не пов'язаних з дотиком до частин, що обертаються, та у разі роз'єднання з'єднувальної муфти заземлювати кабельну лінію не вимагається.

У разі від'єднання кабелю від електродвигуна необхідно на жили кабелю з боку електродвигуна встановити переносне заземлення. У тому разі, коли переріз жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається в електродвигунах напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником перерізом, не меншим за переріз жили кабелю, або з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення та з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативній документації нарівні з переносним заземленням.

Перед допуском працівників до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, слід закрити і зачинити на замок засувки та шибери останніх, а також вжити заходів щодо гальмування роторів електродвигунів.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому проводиться робота, слід вивішувати плакати "Стій! Напруга" незалежно від того, перебувають вони в роботі чи в резерві.

Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені. Про видавання дозволу слід робити запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу - в оперативному журналі цеху (дільниці), що проводить випробування.

Ремонт та налагодження схеми керування електродвигуном, не з'єднаним з виконавчим механізмом, можна проводити за розпорядженням. Випробування схеми керування виконується за дозволом працівника, який видав розпорядження. Запис про це слід

зробити тоді, коли реєструється розпорядження.

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огороджувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях

плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [25], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо

використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізовльованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [26]. Параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях заводу наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається [27]: в холодну пору року використання калорифера; в літню пору застосування вентиляторів обдуву; провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [26] наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [27]: провітрювання приміщення; цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії; встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3. Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [28] розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г».

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованою освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4. Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [29] (таблиця 4.4).

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація». Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

– безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;

– для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори [30].

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

4.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [31, 32]. Пожежо-вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [33], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [34].

Основні виробничі приміщення ЕС за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В з зонами П-Іа в приміщеннях, де є тверді горючі речовини чи матеріали (оболонки електрообладнання).

Будівля, в якій розташовано приміщення машзали, характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилини) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Сту- пін- ь вог- не- сті- й- кос- ті бу- дин- ків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло- ни	сходові площад- ки, костури , сходи, балки, марші сходови х кліток	пере- криття між по- верхов і (у т.ч. горищ ні та над підва- лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходо- вих кліток	само- несуч і	зов- ніш- ні не- несу- чі	внут- рішні не- несуч і (пере- - город- ки				пли- ти, наст и- ли, прог о-ни	балки , ферм и, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нор- мую- ться	

Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються в розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають, як для несучих стін. Будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю та здатністю поширювати во-гонь. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвиликах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції:

- втрати несучої спроможності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати тепло та ізолювальної спроможності (I).

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [35] наведено в таблиці 4.6.

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (знаменник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 7. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків, сільськогосподарських будівель і споруд потрібно приймати за таблицею 7 (знаменник) [35].

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Таблиця 4.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

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

На території ЕС встановлено 47 вогнегасників ВВП-5 (ВП-5) та 42 ВВП-9 [36].

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасниками; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки порошковими вогнегасниками ВП-5 або піском; зупинити обладнання.

ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було виявлено, що серед засобів обмеження струмів КЗ найчастіше використовуються: пристрої автоматичного поділу мережі; струмообмежувальні реактори (некеровані, керовані, з лінійною або нелінійною характеристикою); трансформатори та автотрансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги; трансформатори із підвищеною напругою КЗ; безінерційні струмообмежувальні пристрої (СОП) різного типу (резонансні, реакторно-вентильні, з надпровідними елементами тощо); струмообмежувальні комутаційні апарати (наприклад, вимикачі з передвімкненим резистором тощо); струмообмежуючі резистори; вставки постійного струму; вставки змінного струму промислової частоти; автотрансформатори, що нормально виконані без третинної обмотки, з'єднаної в трикутник; розземлення нейтралі частини трансформаторів; заземлення нейтралів частини трансформаторів та автотрансформаторів через реактори, резистори або інші струмообмежувальні пристрої; заміна на зв'язках розподільних пристроїв різної напруги автотрансформаторів трансформаторами; автоматичне розмикання в аварійних режимах третинних обмоток автотрансформаторів.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі основні завдання:

- виконана класифікація засобів обмеження струмів короткого замикання;
- виконано аналіз відомих технічних засобів обмеження струмів короткого замикання;
- досліджено заходи з безпечної експлуатації електричних двигунів.

Під час обслуговування та експлуатації струмообмежуючих пристроїв потрібно передбачати заходи по запобігання негативному впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Тому в роботі розглянуте питання охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/ Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. 250 с.
2. Костишин, В. С. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб./ В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. - 243 с.
3. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) /В.М. Гаряжа, А.О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. –Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. –149 с.
4. Лежнюк П.Д. Проектування електричної частини електричних станцій / П.Д. Лежнюк, В.М. Лагутін, В.В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194 с.
5. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». 2022. 164 с.
URL:<https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
6. Буткевич О. Ф., Гурєєва Т. М., Чижевський В. В. Юнєєва Н. Т. Про деякі впливи складу генеруючих потужностей на динамічні властивості систем/ Технічна електродинаміка. 2022. № 6. С. 42-51
7. MCDONALD, John D. Electric power substations engineering. CRC press, 2016.
8. DRBAL, Larry; WESTRA, Kayla; BOSTON, Pat (ed.). Power plant engineering. Springer Science & Business Media, 2012. Лежнюк П. Д. Комутаційні електричні апарати / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський, Л. Н. Добровольська. - Луцьк: ЛНТУ, 2010. – 321 с.
9. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
10. Лагутін В. М., Тептя В. В., Вишневський С. Я. Власні потреби електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2008. 102 с.
11. Рубаненко О.Є. Діагностування обладнання в умовах неповноти

вихідних даних / О.Є. Рубаненко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і електроенергетика». – 2011. – Вип.11. – С.319-323

12. Kliman G.B., Stein J. Induction Motor Fault Detection Via Passive Current Monitoring // ICEM'90: Proceedings of International Conferences, MIT. – Boston, - 1990. - P.32-41.

13. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.; Видавництво «Форт», 2017. □ 760 с.

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПА-ОП 40.1-1.21-98: Затв. 09.01.1998 № 4 /Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. Київ, 2008. 150 с.

15. Електричні апарати: підручник /Бржецький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О.Є. – Херсон ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.

16. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – №3. – С. 35-36.

17. IEC 61180-1: First edition, 1992-10. High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 1: Definitions, test and procedure requirements. – 59 p.

18. Сегеда М.С. Проектування структурних схем електростанцій та підстанцій: навч. посіб. / М.С. Сегеда, В.Г. Гапанович, В.П. Олійник, К.Б. Покровський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 144 с.

19. Козлов В. Д., Соломаха М. І. К 592 Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.

20. Електричні апарати: конспект лекцій у 3 ч. Ч. 2. Електричні апарати низької напруги / укладачі: І. Л. Лебединський, І. І. Борзенков. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 66 с.

21. Правила безпечної експлуатації електроустановок: НПАОП 40.1-1.01-97: Затв. 06.10.1997 № 257/Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. Х.: Вид-во «Форт», 2008. 144 с.

22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПА-

ОП 40.1-1.21-98: Затв. 09.01.1998 № 4 /Держ. Комітет України по нагляду за охороною праці. Київ, 2008. 150 с.

23. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

24. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

25. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

26. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

27. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

28. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

29. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

30. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

31. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

32. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та

локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

33. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

34. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

35. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

36. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Аналіз засобів обмеження струмів короткого замикання»Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Сікорська О.В.

(прізвище, ініціали, посада)

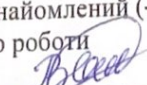
Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	64,3 %
Загальна схожість	35,7 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

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

Автор 
(підпис)

Вашук Б. С.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я
(прізвище, ініціали)

Експерт
(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Виконав: студент 4 курсу групи Е-21бз
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Богдан ВАЩУК

ЗАСОБИ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КЗ

Серед засобів обмеження струмів КЗ використовуються:

- пристрої автоматичного поділу мережі;
- струмообмежувальні реактори (некеровані, керовані, з лінійною або нелінійною характеристикою);
- трансформатори та автотрансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги;
- трансформатори із підвищеною напругою КЗ;
- безінерційні струмообмежувальні пристрої (СОП) різного типу (резонансні, реакторно-вентильні, з надпровідними елементами тощо);
- струмообмежувальні комутаційні апарати (наприклад, вимикачі з передвімкненим резистором тощо);
- струмообмежуючі резистори;
- вставки постійного струму;
- вставки змінного струму промислової частоти;
- автотрансформатори, що нормально виконані без третинної обмотки, з'єднаної в трикутник;
- розземлення нейтралі частини трансформаторів;
- заземлення нейтралів частини трансформаторів та автотрансформаторів через реактори, резистори або інші струмообмежувальні пристрої;
- заміна на зв'язках розподільних пристроїв різної напруги автотрансформаторів трансформаторами;
- автоматичне розмикання в аварійних режимах третинних обмоток автотрансформаторів.

ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СХЕМНИМИ РІШЕННЯМИ

Схемні рішення узгоджуються на стадії проектування схем розвитку енергосистем, а також при проектуванні потужних електростанцій та схем розвитку мереж підвищеної напруги.

Суть схемних рішень полягає у виборі оптимальних (за заданих умов та обмежень) схем видачі потужності електростанцій, а також структури та параметрів елементів мереж енергосистем.

ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СХЕМНИМИ РІШЕННЯМИ

4

Схемні рішення можуть включати:

- відокремлення частини території мереж однакової напруги, з'єднаних виключно високовольтною мережею, так зване периферійне або поздовжнє розділення мережі;
- накладання мереж однакової напруги на площу нашого регіону з підключенням цих мереж через високовольтну мережу, тобто локальне або поперечне розділення мережі. Отриманий результат дозволяє при великому збільшенні навантаження отримати мережу зі стабільним максимальним рівнем струмів короткого замикання;
- поділ електростанцій (за потужністю);
- поділ вузлів мережі (за виробленою потужністю), а саме поділ високовольтних розподільчих пристроїв на окремі частини зі збереженням паралельної роботи вузовими підстанціями мережі, а також перехід частини блоків електростанції на мережу вищої напруги;
- використання розширених структурних схем генератор-трансформатор-лінія.

ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ СТРУМООБМЕЖУЮЧИМИ КОМУТАЦІЙНИМИ АПАРАТАМИ

При короткому замиканні (КЗ) в електричних мережах струм в колі значно зростає у порівнянні зі струмом нормального режиму роботи. У високовольтних мережах струми короткого замикання можуть досягати таких величин, що підібрати устаткування, яке б змогло витримати електродинамічні сили, що виникають внаслідок протікання цих струмів, не є реальним. Для обмеження струму короткого замикання застосовують струмообмежувальні реактори.

Основна сфера використання реакторів — електричні мережі напругою 6...10 кВ. Інколи струмообмежувальні реактори використовуються в устаткуванні на 35 кВ і вище (110...500 кВ), а також при напругах, нижчих за 1000 В. Реактори використовують також для обмеження пускових струмів синхронних електродвигунів та як споживачі реактивної потужності з метою підвищення пропускної спроможності ліній електропередач.

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

Струмообмежувальний **реаактор** (англ. *current limiting reactor*) — високовольтний електричний апарат, різновид електричного реактора послідовного увімкнення, що призначений для обмеження струму короткого замикання та підтримання при цьому достатньої напруги на неушкоджених частинах електроустаткування за реактором у мережах змінного струму. Використання струмообмежувальних реакторів забезпечує умови стійкої роботи електричних генераторів та двигунів споживачів в електричних мережах.



Рисунок 1 -Трифазний струмообмежувальний реактор в лінії 110 кВ, номінальною реактивною потужністю 50 МВАр

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

Реактор виготовляється у вигляді індуктивної котушки без осердя з магнітного матеріалу. Завдяки цьому він має сталий індуктивний опір, що не залежить від струму, який протікає.

Реактори на напругу до 35 кВ (для встановлення в закритих приміщеннях) виконуються у вигляді котушок, витки яких закріплені в бетонних колонах, а на 35 кВ і вище — у вигляді котушок поміщених в сталеві баки, заповнені трансформаторною оливою.

Сухі реактори як новий напрямок в конструюванні струмообмежувальних реакторів застосовуються в мережах з номінальною напругою до 220 кВ.

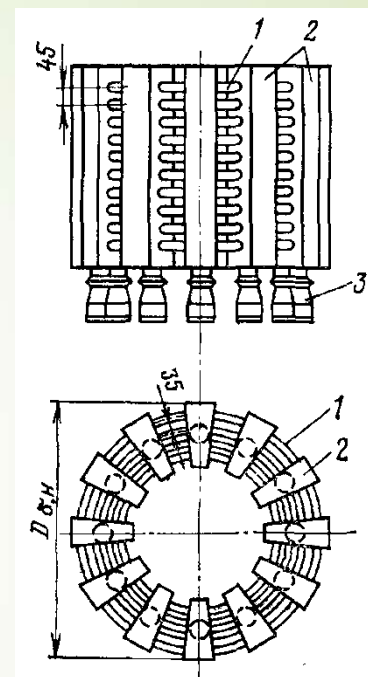


Рисунок 1– Конструкція бетонного реактора серії РБ:1 - обмотка реактора; 2 - бетонні колони

СХЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ РЕАКТОРІВ

Основні технічні параметри електричного реактора — номінальна напруга та струм і відносний індуктивний опір (процентне відношення падіння напруги на реакторі при номінальному струмі до номінальної фазної напруги мережі).

Для потужних і відповідальних ліній застосовується індивідуальне реактування (лінійний реактор). Коли через реактор живиться група ліній, його називають груповим реактором. Реактор, що вмикається між секціями розподільних пристроїв, називають секційним реактором.

Види реакторів:

Секційні реактори обмежують струм КЗ в зоні збірних шин, приєднань генераторів, трансформаторів, тому їх опори повинні бути достатніми для обмеження струму КЗ до значень, які потрібні для встановлення вимикачів.

Лінійний реактор (англ. *line reactor*) вмикається послідовно в коло, струм у якого потрібно обмежувати і працює як індуктивний (реактивний) додатковий опір, який зменшує струм при короткому замиканні, що забезпечує стійкість генераторів і системи в цілому.

Здвоєні реактори (англ. *duplex reactor*) конструктивно схожі до звичайних реакторів, але від середньої точки обмотки вони мають допоміжний вивід.

Дякую за увагу!