

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Особливості експлуатації струмообмежуючих реакторів

Виконав: студент 4 курсу, групи Е-21бз
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»,
Барчишен Є. П. Барчишен Є. П.

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ЕСС
Комар В. О.

« 06 » 06 2025 р.

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

Войткевич Ю.П.
« 06 » 06 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»
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.
«02» 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Барчишена Євгенія Павловича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Особливості експлуатації струмообмежуючих реакторів»

Керівник роботи д.т.н., проф., зав. каф. ЕСС Комар В. О.

затверджена наказом вищого навчального закладу № 97 від 20.03.2025р

2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Вихідні дані для проведення вибору реакторів з метою обмеження струмів короткого замикан.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Конструкція реакторів. 2. Огляди і обслуговування. 3. Підвищення надійності роботи струмообмежувальних реакторів 6-10 кВ 4. Дугогасні реактори (катушки) 5. Шунтуючі реактори 6. Розрахунок струмів КЗ 7. Визначення максимальних струмів приєднань та імпульсів квадратичного струму 8. Вибір комутаційної апаратури 9. Вибір лінійних реакторів 10. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел.
Додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Конструкція реакторів, Шунтуючі реактори, Вибір струмообмежуючих реакторів, Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав
Спеціальна частина	Керівник роботи Комар В. О., д.т.н., проф., зав. кафедри ЕСС		
Охорона праці	Керівник роботи Комар В. О., д.т.н., проф., зав. кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Формування та затвердження завдання БКР	20.03.2025	27.03.2025
2	Вступ. Огляд літературних джерел	28.03.2025	04.04.2025
3	Підвищення надійності роботи струмообмежувальних реакторів 6-10 кВ	05.04.2025	12.04.2025
4	Визначення максимальних струмів приєднань та імпульсів квадратичного струму	13.04.2025	28.04.2025
5	Охорона праці	29.04.2025	06.05.2025
6	Формування висновків по роботі	07.05.2025	14.05.2025
7	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025	22.05.2025
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	23.05.2025	29.05.2025

Студент


(підпис)

Є. П. Барчиш

Керівник роботи


(підпис)

В. О. Комар

Анотація

УДК 621.311.1

Барчишен Євгеній Павлович «Особливості експлуатації струмообмежуючих реакторів». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 60 с. Бібліогр.: 44. Рис. : 13. Табл. : 5

В бакалаврській роботі розглянуто основні конструкції струмообмежуючих реакторів, особливості їх експлуатації. В розділі охорони праці розглядаються питання розрахунку заземлення та грозозахисту.

Ключові слова: струмі короткого замикання, струмообмежуючі реактори, залишкова напруга, комутаційні перенапруги.

Abstract

Barchyshen Yevgeny Pavlovych “Features of operation of current-limiting reactors”. Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 60 p. Bibliography: 44. Fig. : 13. Tab. : 5

The bachelor's work considers the basic designs of current-limiting reactors, features of their operation. The section on labor protection considers the issues of calculating grounding and lightning protection.

Keywords: short-circuit currents, current-limiting reactors, residual voltage, switching overvoltages.

Зміст

Анотація	5
Abstract	6
ВСТУП	8
1. КОНСТРУКЦІЯ РЕАКТОРІВ.....	10
2. ОГЛЯДИ І ОБСЛУГОВУВАННЯ	14
3. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНИХ РЕАКТОРІВ 6-10 кВ	15
4. ДУГОГАСИЛЬНІ РЕАКТОРИ (КОТУШКИ)	20
4.1. Конструкція дугогасильних реакторів	22
4.2. Обслуговування дугогасильних реакторів.....	25
5. ШУНТУЮЧІ РЕАКТОРИ	28
5.1. Усунення дефектів шунтуючих реакторів РОДЦ – 60000/500	28
5.2. Якість та надійність шунтуючих реакторів 500 кВ.....	30
6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ	31
7. ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ СТРУМІВ ПРИЄДНАНЬ ТА ІМПУЛЬСІВ КВАДРАТИЧНОГО СТРУМУ.....	36
8. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОЇ АПАРАТУРИ.....	38
9 ВИБІР ЛІНІЙНИХ РЕАКТОРІВ.....	40
10 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
10.1. Розрахунок заземляючого пристрою вРУ-35 кВ.....	43
10.2. Грозозахист ВРУ –35 кВ	46
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
Додаток А Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	54
Додаток Б Графічна частина	55

ВСТУП

Струмообмежувальні реактори, призначені для обмеження струмів КЗ і підтримки напруги на шинах при аварійному режимі, це багатовиткові котушки без сердечника, що володіють великим постійним індуктивним і малим активним опором. При КЗ реактор обмежує струм короткого замикання в ланцюзі через значний індуктивний опір і цим полегшує умови роботи електрообладнання та апаратів; розміщуються за реактором трансформатори струму, роз'єднувачі, вимикачі можуть мати характеристики, розраховані на менші термічні і динамічні дії струмів КЗ. Крім того, у випадку КЗ розподільчої мережі, реактор повинен забезпечити залишкову напругу на шинах не менше 70% $U_{ном}$.

За призначенням реактори поділяються на шинні або секційні (що включаються між секціями шин і обмежують загальний струм короткого замикання) і лінійні, що обмежують струм КЗ в захисній лінії (рис. 1, а, б). Якщо через реактор живиться група ліній, його називають груповим (рис. 1, в).

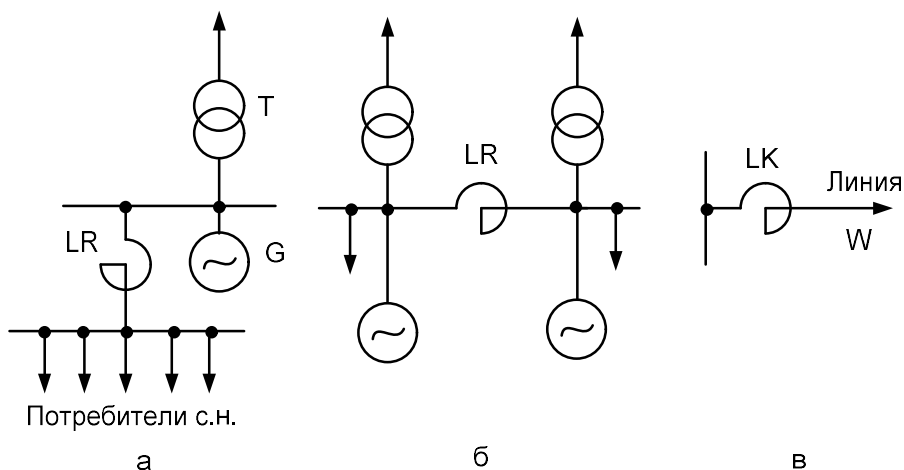


Рисунок 1 – Схеми ввімкнення реакторів:

а – секційних; б – лінійних; в – групових

Основними параметрами реакторів є індуктивний опір, номінальна напруга на фазу, номінальний струм, номінальна прохідна потужність (для трифазної групи реакторів $S = U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \sqrt{3}$), динамічна і термічна стійкість.

Мета роботи і задачі дослідження: аналіз конструктивних особливостей реакторів різних типів та призначення.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- розглянути конструктивні особливості струмообмежувальних реакторів;
- розглянути конструктивні особливості шунтувальних реакторів;
- визначення експлуатаційних параметрів струмообмежувальних реакторів.

Об'єкт дослідження – процеси у реакторах різних типів.

Предмет дослідження – особливості експлуатації реакторів різних типів.

Методи досліджень. У роботі використані методи електротехніки.

Основні наукові та практичні результати, їх значення.

На підставі виконаних досліджень розв'язана задача підвищення ефективності струмообмежувальних реакторів.

1. КОНСТРУКЦІЯ РЕАКТОРІВ

Найбільшого поширення набули бетонні реактори на 6 і 10 кВ з мідними (РБ) і алюмінієвими обмотками (РБА). Сухий реактор з повітряним охолодженням РБ (рис. 1.1) встановлюють на опорні порцелянові ізолятори 3. Багатожильний провід відповідного перетину за допомогою шаблонів намотується у вигляді котушки 1. Після цього в спеціальні форми заливається бетон, який, застигаючи, утворює вертикальні стійки-колони 2, які скріплюють окремі витки, запобігаючи їх зміщенню під дією власної маси і електродинамічних зусиль при протіканні струмів КЗ. Для отримання необхідної міцності електричної ізоляції після затвердіння бетону реактор піддають інтенсивному сушінню під вакуумом, потім реактор двічі просочується вологостійким ізоляційним лаком. Реактор від заземлених конструкцій та від сусідніх фаз ізолюється за допомогою опорних фарфорових ізоляторів.

Реактори охолоджуються, як правило, за рахунок природної вентиляції. З метою виділення великої потужності в реакторі передбачаються спеціальні канали для охолодження повітря, особливо при великих номінальних струмах.

Бетонні реактори випускаються на номінальні струми до 4000 А і виготовляються для вертикальної, горизонтальної та ступінчастою установки.

У нормальних умовах роботи втрати напруги в реакторі не перевищують 1,5-2%, втрати активної потужності складають 0,1-0,2% потужності, яка проходить через нього.

Бетонні реактори добре себе зарекомендували при роботі в закритих розподільних пристроях при напрузі до 35 кВ. Недоліками їх є громіздкість і велика маса.

При напрузі понад 35 кВ і при установці реакторів на відкритій частині підстанцій застосовуються масляні реактори. Обмотка такого реактора

намотується на спеціальний каркас з ізоляційного матеріалу типу гетинакса.

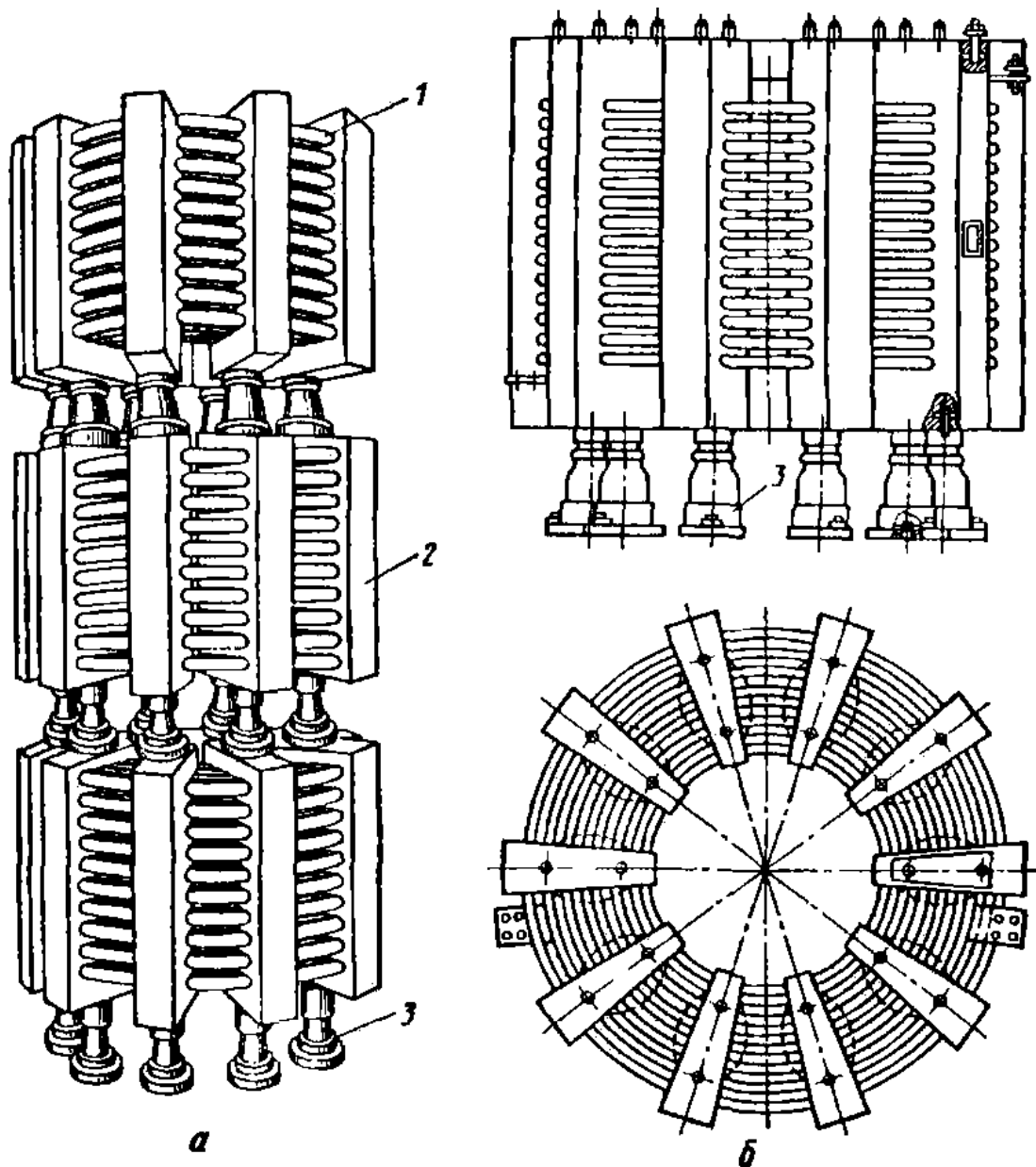


Рисунок 1.1 – Бетонний реактор РБ-10 з вертикальним розташуванням фаз: а – загальний вигляд; б – фаза реактора

Ця обмотка занурюється в сталевий бак з трансформаторним маслом, що дозволяє зменшити відстань між обмоткою і заземленими частинами, поліпшити охолодження обмотки за рахунок конвекції масла і зменшити масу та габаритні розміри.

Однак така компоновка реактора пов'язана з додатковими труднощами; змінний магнітний потік реактора замикається по баку і нагріває його до

неприпустимих температур. Для уникнення нагріву всередині бака встановлюється короткозамкнута обмотка-екран. Короткозамкнений виток збільшує магнітний опір ланцюга і зменшує магнітний потік, що замикається через бак.

Поряд з реакторами звичайної конструкції застосовуються здвоєні реактори. Конструктивно вони подібні звичайним реакторів, але від середньої точки обмотки є додатковий висновок. У разі застосування здвоєних реакторів джерело може бути приєднаний до середньої точки, а споживачі до крайніх, або навпаки (рис. 1.2).

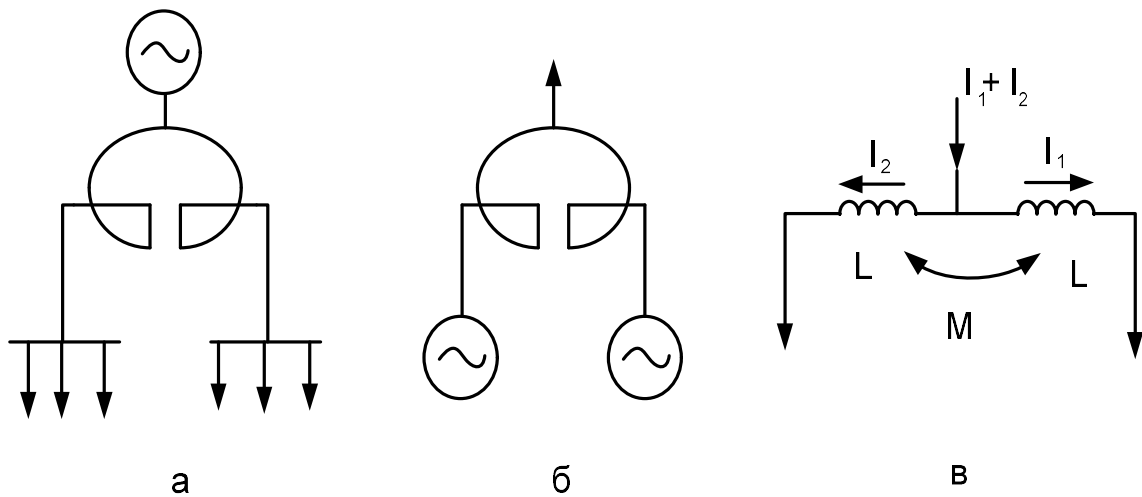


Рисунок 1.2 – Здвоєний реактор:

а, б – схеми включення; в – електрична схема

Між котушками існує електромагнітний зв'язок. У нормальному режимі роботи струми навантаження в котушках спрямовані в різні боки. Завдяки взаємному впливу протилежно спрямованих струмів в котушках падіння напруги в них менше, ніж у випадку звичайного реактора. Це є перевагою здвоєного реактора. При КЗ з боку однієї гілки струм буде набагато більше струму в іншій гілці реактора – вплив взаємної індуктивності знижується. Якщо прийняти за індуктивність гілки реактора значення L , а взаємної індуктивності M , то при коефіцієнті зв'язку $K_{св} = M/L = 0,5$ індуктивний опір реактора в режимі КЗ зростає приблизно в 2 рази в порівнянні з нормальним

режимом роботи, що перевищує струмообмежувальним ефект зведеного реактора.

В електроустановках застосовуються здвоєні бетонні реактори з алюмінієвої обмоткою для внутрішньої і зовнішньої установок типу РБС.

З огляду на те, що реактор створює потужне магнітне поле в приміщенні, де його встановлюють, передбачають наступні заходи безпеки: відстань від краю реактора до сталевих конструкцій в камері повинно бути не менше половини його діаметру; сталеві конструкції і провідники не повинні створювати замкнутий контур; опорні ізолятори слід армувати немагнітними матеріалами, а болти для контактних з'єднань виготовляти з немагнітної сталі або латуні.

2. ОГЛЯДИ І ОБСЛУГОВУВАННЯ

При систематичних зовнішніх оглядах і оглядах після КЗ перевіряють відсутність тріщин в бетоні, особливо в бетоні здвоєних реакторів на стику обох обмоток, справність опорних ізоляторів і їх армування, надійність кріплення реакторів до стійок, цілісність лакового покритву колонок та ізоляції витків, відсутність деформації витків. Особливу увагу звертають на якість з'єднань контактних пластин з обмотками, на відсутність нагріву в місцях приєднання шин до реактору.

Періодично стежать за справністю вентиляції приміщень. Крім того, у сучасних реакторів перевіряється робота технологічної вентиляції, при відсутності якої реактори не забезпечують своєї номінальної пропускної здатності.

Значну небезпеку для бетонних стійок реактора являє собою волога, яку бетон швидко вбирає, в результаті чого знижується його опір в 2-3 рази. Таке зниження опору не небезпечно для реактора в нормальних умовах роботи, але при КЗ на відсирівшому бетоні може статися перекриття між витками, так як на реакторі в цей час буде велике падіння напруги.

В експлуатації опір ізоляції обмоток реактора щодо фланців опорних ізоляторів перевіряють мегаомметром 1000-2000 В, воно повинно бути не менше 0,1 МОм. Опорні ізолятори відчують підвищеною напругою промислової частоти. Всі випробування, перевірки та чистку ізоляції від пилу проводять одночасно з ремонтом обладнання приєднань. Після ремонту перевіряють, чи не залишені сторонні предмети на обмотці і стійках щоб уникнути попадання їх в магнітне поле реактора. Реактори сушать при пошкодженні лакового покритву понад 1/4 поверхні бетонної колонки і різкому зниженні опору ізоляції.

Обслуговування масляних реакторів аналогічно обслуговуванню маслонаповнених трансформаторів.

3. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНИХ РЕАКТОРІВ 6-10 кВ

На споруджуваних потужних теплоелектроцентралях (ТЕЦ) передбачаються генератори потужністю 63 МВт при генераторній напрузі 6,3 або 10,5 кВ, а також потужністю 100 МВт при напрузі генератора 10,5 кВ.

Для головних схем з'єднань ТЕЦ характерні блокова структура з установкою вимикача безпосередньо у генератора або схеми з розподільчим пристроєм генераторної напруги (ГРУ) 6-10 кВ.

Найбільш поширені блоки: один генератор – один двохобмотковий трансформатор. Обмотка вищої напруги блочного трансформатора підключається, як правило, до мережі, що працює з заземленою нейтраллю (110-330 кВ). При наявності відгалуження генераторної напруги підвищувальний трансформатор блоку встановлюється з РПН.

На всіх блоках на стороні генераторної напруги, як правило, є відгалуження для живлення власних потреб блоку через реактор (при напрузі генератора 6,3 кВ), а в ряді випадків є два відгалуження – одне для живлення навантаження власних потреб і друге (через реактор на 6,3 або 10,5 кВ) – для живлення навантаження споживачів. При цьому для живлення навантаження власних потреб не допускається застосування здвоєних реакторів, які динамічно не стійкі до впливу струму подвійного замикання на землю на різних секціях.

Лінії, що відходять від шин ГРУ, реактовані. Лінійні реактори застосовуються для обмеження струму КЗ при пошкодженнях на відхідних кабельних лініях, коли розрахунковий рівень струмів КЗ перевершує допустимий для електрообладнання. Крім того, вони сприяють підтримці залишкової напруги на збірних шинах ТЕЦ, що підвищує стійкість паралельної роботи.

Для орієнтовного визначення реактивності лінійного реактора приймають на кожні 100 А номінального струму 0,5% при 6 кВ і 0,4% при 10

кВ, що дозволяє обмежити струм КЗ до 20 кА в мережі 6-10 кВ. Номінальні струми і реактивні опори лінійних реакторів повинні уточнюватися для конкретних проектів з урахуванням схеми резервування споживчих ліній, частки двигунів високої напруги в загальному навантаженні і їх типів (асинхронний або синхронний).

Реактори повинні володіти стійкістю при КЗ і поштовхах навантаження. Згідно з інструкцією по експлуатації діюче значення періодичної складової струму короткого замикання $I_{к доп}$ має визначатися за формулою

$$I_{к доп} = U_H / \left(\sqrt{3} X_p + U_H / I_C \right), \quad (1)$$

де U_H – клас напруги реактора, кВ; X_p – номінальний індуктивний опір одинарного реактора, Ом; I_C – усталений умовний струм КЗ в мережі без реактора в тому місці, де реактор повинен встановлюватися, при номінальній напрузі мережі, відповідному класу напруги реактора, кА; $I_{к доп}$ не більше $25 I_H$.

Значення I_C має бути прийняте наступне:

125 кА – для всіх реакторів з горизонтальним розміщенням фаз і для всіх реакторів з номінальним струмом, рівним або більшим 1000 А,

при номінальному індуктивному опорі, що дорівнює або перевищує 0,25 Ом;

90 кА – для реакторів з вертикальним і ступінчастим розташуванням фаз з номінальним струмом менше 1000 А, при номінальному індуктивному опорі, що дорівнює або перевищує 0,40 Ом;

70 кА – для всіх інших реакторів.

Максимальне миттєве значення струму електродинамічної стійкості, стосовно до якого виконуються розрахунки і проводяться випробування на електродинамічну стійкість, має визначатися за формулою

$$i_{дин} = 2,55 I_{к доп}, \quad (2)$$

де $i_{дин}$ – максимальне миттєве значення струму електродинамічної стійкості для одинарних реакторів, а також для здвоєних реакторів при протіканні струму в одній гілці або в обох гілках в узгодженому напрямку, кА.

Заводи-виробники характеризують електродинамічну стійкість реакторів номінальним струмом електродинамічної стійкості (миттєве значення повного струму $i_{\text{дин}}$, відповідним максимальному допустимому ударному струмі КЗ. При перевірці реактора на електродинамічну стійкість має бути дотримано нерівність

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}. \quad (3)$$

Реактор, стійкий динамічно, зазвичай володіє достатньою стійкістю і в термічному відношенні.

Як показує аналіз, бажана надійність роботи бетонних реакторів, що випускаються промисловістю, не завжди забезпечується. В умовах експлуатації бувають режими, коли струм трифазного КЗ за реактором більше розрахованого за формулою (1), що призводить до руйнування реактора. Граничною умовою для визначення максимально можливого струму при КЗ за реактором буде результуючий опір до реактора, що дорівнює нулю ($X_S = 0$). З граничної умови випливає значення результуючого опору до місця КЗ за реактором $X_{\kappa S}$:

$$X_{\kappa S} = X_S + X_p = X_p. \quad (4)$$

Джерело з параметром $X_S = 0$ розглядається як джерело нескінченної потужності, участь якого в живленні КЗ обмежена тільки опором реактора.

Судячи з практики, струмообмежувальні бетонні реактори номінальної напруги 10 кВ, що приєднуються до джерела нескінченної потужності, не володіють електродинамічною стійкістю.

До освоєння промисловістю нової серії реакторів підвищеної стійкості для забезпечення електродинамічної стійкості рекомендується замість одного реактора, який не володіє електродинамічною стійкістю, використовувати послідовне з'єднання двох електродинамічностійких реакторів. Слід мати на увазі, що сумарний індуктивний опір двох електродинамічностійких реакторів має бути приблизно рівним номінальному індуктивному опору одного нестійкого реактора, що забезпечує таке ж обмеження струму КЗ.

Послідовне з'єднання двох одинарних реакторів з горизонтальним розміщенням фаз на одному рівні (в плані) дано рис. 3.1. Послідовне з'єднання двох одинарних реакторів з вертикальним розташуванням фаз наведено на рис.3.2.

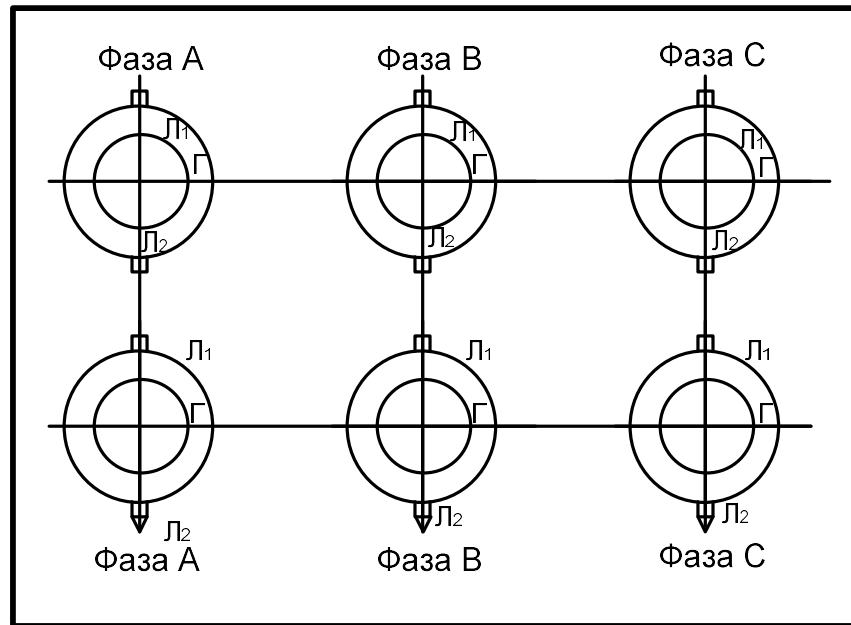


Рисунок 3.1 – Схема установки двох одинарних реакторів з горизонтальним розміщенням фаз на одному рівні (в плані)

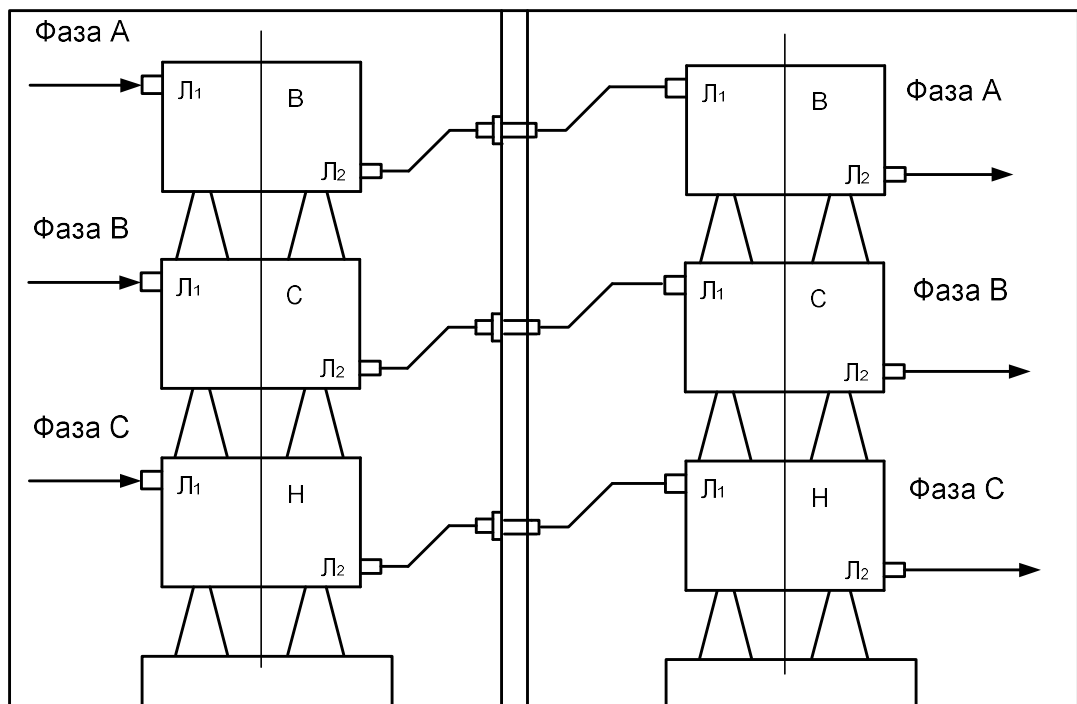


Рисунок 3.2 – Схема установки двох одинарних реакторів з вертикальним розташуванням фаз

Між двома реакторами з вертикальним розташуванням фаз в приміщенні встановлюється стіна, в якій можуть знаходитися феромагнітні конструкції (наприклад, арматура залізобетонної стіни) або бути відсутніми будь-які деталі з феромагнітних матеріалів.

Монтажні відстані в паспорті реактора вказуються з урахуванням того, щоб напруженість електромагнітного поля не перевищувала $0,4 \text{ A/m}$ в місцях близьких до реактора, де можуть бути розташовані металоконструкції, які нагріваються від вихрових струмів.

4. ДУГОГАСНІ РЕАКТОРИ (КОТУШКИ)

У трифазній мережі з незаземленою нейтраллю при металевому замиканні однієї з фаз на землю (рис. 4.1, а) напруга пошкодженої фази щодо землі падає до нуля, а на двох інших стає рівною лінійній напрузі. У точці замикання протікає струм, який дорівнює сумі ємнісних струмів непошкоджених фаз: $I_C = -U_\phi j\omega C$, де I_C – струм замикання на землю; C – ємність мережі; $\omega = 2\pi f$ - кутова частота.

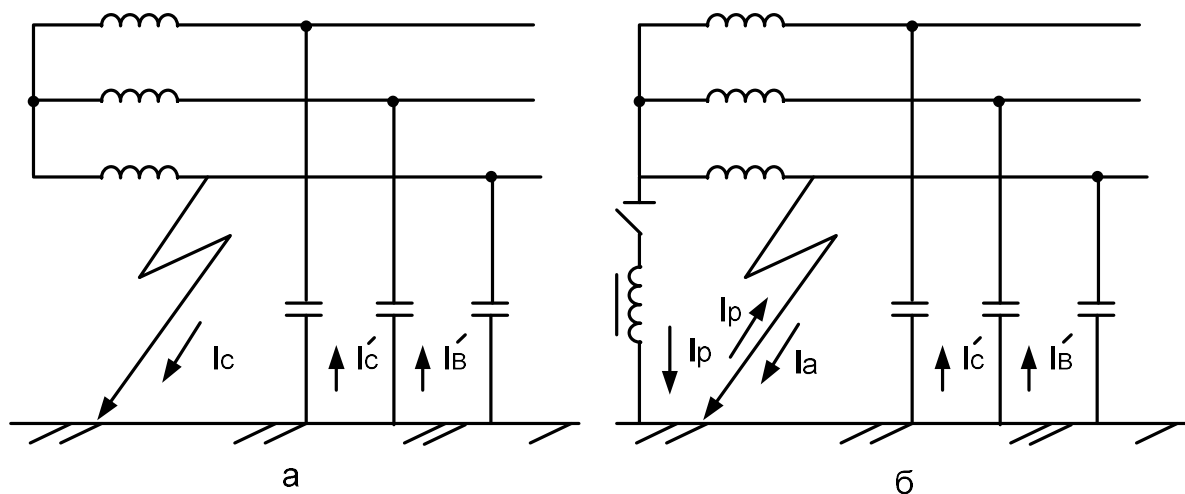


Рисунок 4.1 – Замикання фази на землю
в мережі з ізольованою нейтраллю (а)
і з компенсацією ємнісного струму (б)

Чим довша мережа, тим більше ємність і тим більше струм замикання на землю.

Замикання фази на землю не змінює симетрії лінійних напруг і не порушує електропостачання споживачів. Але небезпека замикання фази на землю полягає в тому, що в місці пошкодження виникає переміжна заземлювальна дуга, тривале горіння якої при великому ємнісному струмі призводить до теплового ефекту і значної іонізації навколишнього простору, що створює сприятливі умови для виникнення міжфазних КЗ. Переривчастий

характер дуги призводить до небезпечних перенапруг (до $3,2 U_\phi$), що поширюються по всій мережі.

Якщо при цьому на окремих ділянках мережі ізоляція виявиться зниженою (наприклад, внаслідок забруднення і зволоження), то дугові перенапруги можуть призвести до міжфазних перекриттям і аварійних відключень обладнання. Але навіть при відсутності дугових перенапруг підвищення до лінійної напруги двох фаз вже може привести до пробою дефектної ізоляції.

Особливо важливо обмеження струмів замикання на землю в мережах, пов'язаних з генераторами, так як це запобігає розвитку пошкоджень при появі замикання в обмотці генератора.

Завдання експлуатації полягає в тому, щоб зменшити струм замикання на землю і забезпечити швидке погашення заземлювальної дуги. Для цього нормують значення ємнісних струмів, при яких можлива тривала робота мережі (6-30 кВ відповідно 30-10 А ємнісний струм). При перевищенні нормованих значень струмів в нейтраль трансформатора (або генератора) включається дугогасний реактор (рис. 3.6, б), що компенсує ємнісний струм. Індуктивний струм дугогасного реактора I_p виникає під дією напруги зсуву нейтралі.

Якщо $I_p = I_C$, настає резонанс струмів і через місце замикання на землю струм протікати не буде. Завдяки цьому дуга в місці пошкодження не виникає і пов'язані з нею небезпечні наслідки усуваються. Дугогасильні реактори, як правило, мають резонансне налаштування. В експлуатації допускається налаштування з перекомпенсацією ($I_p > I_C$), якщо реактивна складова струму замикання на землю не більше 5 А. Налаштування з недокомпенсацією ($I_p < I_C$) застосовується в кабельних і повітряних мережах, якщо несиметрія ємностей фаз не призводить до появи напруги зміщення нейтралі, що перевищує $0,7 U_\phi$.

4.1. Конструкція дугогасних реакторів

Вона близька до конструкції масляних трансформаторів: в бак, заповнений трансформаторним маслом, поміщується магнітна система з обмоткою. За виконанням магнітної системи різняться такі конструкції магнітопроводу: з розподіленим повітряним зазором; плунжерного типу і з підмагнічуванням.

Схема реактора, що має магнітопровід з розподіленим повітряним зазором, представлена на рис. 4.2.

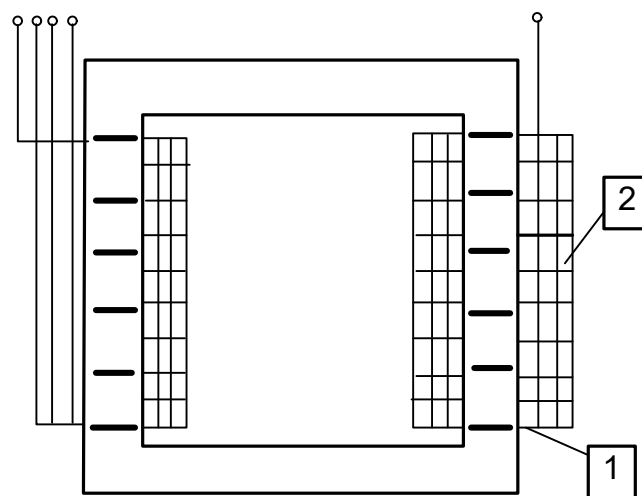


Рисунок 4.2 – Дугогасильний реактор, який має магнітопровід з розподіленим повітряним зазором

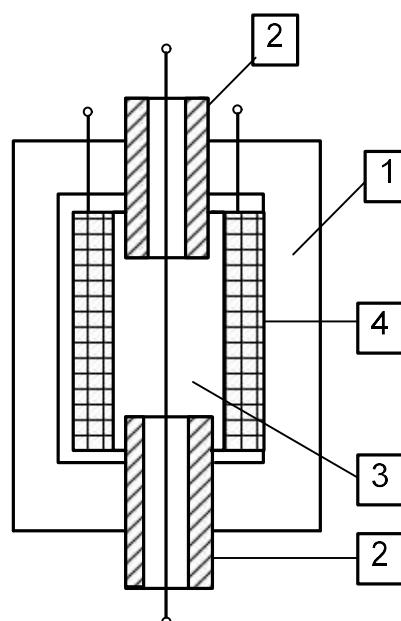


Рисунок 4.3 – Дугогасильний реактор з магнітопроводом плунжерного типу

Розподілений повітряний зазор 1 забезпечує практично лінійний характер вольт-амперної характеристики реактора при зміні напруги від нуля до фазного. Обмотка 2 має відгалуження для ступеневого регулювання опору. Таку конструкцію мають вітчизняні реактори серії РЗДСОМ (Р – реактор, З – заземлюючий, Д – дугогасний, С – ступінчате регулювання, ОМ – однофазний масляний), потужністю до 1520 кВА, які випускаються для компенсації ємнісних струмів замикання на землю в мережах 6, 10 і 35 кВ, а також в ланцюгах генераторної напруги 15,75 і 20 кВ блоків; з діапазоном регулювання 1: 2. Недоліком цих реакторів є те, що настройка змінюється після відключення реактора від мережі і здійснюється вручну, ступенями, за допомогою перемикача відгалужень, розташованого на кришці бака.

Реактор з магнітопроводом плунжерного типу (рис. 3.8) має магнітну систему 1 з переміщаються стрижнями 2, які плавно регулюють повітряний зазор 3 всередині обмотки 4. Стрижні переміщаються за допомогою електроприводу з дистанційним управлінням, що забезпечує плавне регулювання опору реактора без відключення від мережі, дозволяючи автоматизувати настройку.

В наш час розробляються нові всережимні автокомпенсатори типу ПАРК (пристрій автоматичного регулювання компенсації ємнісних і активних струмів однофазного замикання на землю) на основі дугогасних реакторів плунжерного типу з індуктивністю, керованою широтно-імпульсним модулятором. Це двоканальний мікропроцесорний компенсатор, розрахований на придушення малих і великих струмів замикання, де будь-який розлад резонансу з наперед заданою точністю відпрацьовується тільки одним пускачем.

Дугогасильні реактори з підмагнічуванням магнітопроводу постійним струмом виконуються в трьох варіантах: з поздовжнім підмагнічуванням; зі змішаним поздовжньо-поперечним підмагнічуванням; з поперечним

підмагнічуванням. При підмагнічуванні магнітопроводу змінюються його магнітне опір i , відповідно, індуктивний опір реактора.

Магнітопровід реактора з поздовжньо-поперечним підмагнічуванням має два стержні. На кожному стержні розміщуються основна обмотка і обмотка управління (підмагнічування). Підмагнічування здійснюється випрямленим струмом, значення якого змінюється за допомогою автоматичного регулятора. На різних ділянках стержнів магнітний потік підмагнічування орієнтований уздовж і поперек магнітного потоку змінного струму, тобто є змішане поздовжньо-поперечне підмагнічування. Осі котушок обмоток управління повернені на 90° щодо осей котушок основних обмоток, що виключає зворотний вплив потоку змінного струму на контур підмагнічування.

Автоматичний регулятор, який формує сигнали управління на обмотки підмагнічування, повинен реагувати на один з характерних параметрів режиму замикання на землю: потенціал або фазу потенціалу нейтралі; сумарний ємнісний струм мережі і т.п.

Реактори з підмагнічуванням забезпечують можливість швидкодіючої автоматичної настройки та гнучку систему регулювання. Недоліки її полягають в меншому діапазоні регулювання і генеруванні струмів вищих гармонік.

Вітчизняні заводи виробляють дугогасильні реактори серії РЗДПОМ (П – плавне регулювання), в яких застосовуються обидва способи плавного регулювання індуктивного опору шляхом зміни повітряного зазору і за допомогою керованого підмагнічування магнітопроводу.

Всережимний компенсатор УАРК 202 на основі дугогасного реактора з підмагнічуванням для мережі 6 кВ з струмом замикання від 30 до 100 А встановлений в системі Свердловекенерго. Крім того, розроблений дугогасний реактор з поздовжнім підмагнічуванням, до складу якого входять дросель компенсатора активної складової і додаткова обмотка. Пристрій містить тиристорні засоби управління струмом підмагнічування і компенсацією

активної складової; мікропроцесорний блок управління, який реалізує алгоритми двоканальної автонастройки і ряду захистів. Разом з тим реактори з підмагнічуванням поступаються за ефективністю дугогаснення реакторів, керованим широтно- імпульсним модулятором..

Дугогасильні реактори типу ЗРОМ (З – заземлюючий, Р – реактор, Про – однофазний, М – масляний), що застосовуються в мережах 6-35 кВ, мають ступеневе регулювання струму. Привід перемикача відгалужень знаходиться на кришці бака. Для живлення ланцюгів контролю і сигналізації дугогасильні реактори забезпечуються сигнальними обмотками (100 В, 10 А). Налаштування змінюється при відключеному від мережі реактора. Роз'єднувач відключається у разі відсутності в мережі замикання на землю, про що судять по сигнальним пристроям на щиті і безпосередньо у роз'єднувача. Перемикання відгалужень на невідключеному реакторі не допускається за умовою безпеки.

При виборі дугогасного реактора рекомендується наступний порядок: визначається максимальний ємнісний струм замикання на землю I_C ; визначається сумарна потужність реакторів з умови повної компенсації ємнісного струму I_C (резонансна настройка); визначається число реакторів (якщо $I_C > 50$ А, рекомендується застосовувати не менше двох реакторів); вибирається місце включення реакторів (вузлові підстанції мережі, в мережах генераторної напруги – на станціях); вибираються трансформатори для підключення реакторів (на станціях використовують нейтралі генераторів, на підстанціях – нейтралі трансформаторів власних потреб).

4.2. Обслуговування дугогасних реакторів

Автоматизована, нормально компенсована мережа повинна мати:

дугогасильні реактори з ручним перемиканням відгалужень, призначені для компенсації ємнісних струмів головним чином в базисній частині регулювання; підлаштування дугогасні реактори з плавною зміною струму компенсації без відключення реактора від мережі. Струм регулюється

диспетчером за допомогою автоматів настройки компенсації і пристроїв телемеханіки; дугогасильні реактори з автоматичними регуляторами (оптимізаторами) струму компенсації, які починають працювати відразу ж після виникнення замикання на землю і приводять мережу до режиму резонансної настройки, щоб ліквідувати дугу в місці пошкодження.

Дугогасильні реактори перебудовуються за розпорядженням диспетчера, який керується таблицею вибору настройки, складеної для конкретних ділянок мережі..

У блочних схемах генератор-трансформатор (на генераторній напрузі) дугогасильні реактори повинні застосовуватися при ємнісного струму на землю повинна перевищувати 5 А, причому допускається застосування нерегульованих дугогасних реакторів.

Вимірювання ємнісних струмів, струмів дугогасних реакторів, струмів замикання на землю і напруг зсуву нейтралі виробляються при введенні в експлуатацію дугогасильних реакторів і при значних змінах режимів мережі, але не рідше ніж 1 раз в 5 років..

Потужність дугогасних реакторів вибирається по ємнісному струму мережі з урахуванням її перспективного розвитку.

Заземлюючі дугогасні реактори повинні встановлюватися на підстанціях, пов'язаних з компенсуючою мережею не менше ніж трьома лініями електропередачі. Це, як правило, живлять вузлові підстанції: відокремлення дугогасних реакторів від мережі при замиканні в ній на землю викликає збільшення струму в місці замикання і може привести до переходу однофазного КЗ на землю в міжфазова КЗ.

Установка дугогасних реакторів на тупикових підстанціях забороняється, так як неповнофазні режими живлення можуть призвести до появи великої напруги зміщення нейтралі і тривалим перенапруженням феррорезонансного характеру. З цієї ж причини забороняється підключення дугогасильних реакторів до трансформаторів, захищених плавкими запобіжниками.

Ізольований вивід дугогасного реактора, призначений для заземлення, з'єднується із загальним заземлюючим контуром через трансформатор струму для підключення ланцюгів сигналізації і контролю роботи реактора.

Мережі з компенсацією ємнісних струмів можуть експлуатуватися при наявності в мережі замикання фази на землю, але відділення місця замикання на землю має проводитися по можливості швидко (для виключення аварії) – Одночасно з відшукуванням місця пошкодження оглядаються працюючі реактори і трансформатори, до нейтралей яких вони підключені. Це пов'язано з тим, що тривалість безперервної роботи дугогасильних реакторів під струмом нормується заводом для окремих відгалужень від 2 до 8 годин. Якщо відшукування замикання на землю затягується, експлуатаційний персонал зобов'язаний вести ретельне спостереження за температурою верхніх шарів масла в баку реактора, записуючи показання термометра через кожні 30 хв. Максимальне підвищення температури верхніх шарів масла допускається до 100°C .

Догляд за дугогасними реакторами майже не відрізняється від догляду за силовими трансформаторами. Капітальний ремонт дугогасних реакторів рекомендується проводити не рідше 1 разу на 12 років.

5. ШУНТУЮЧІ РЕАКТОРИ

На підстанціях далеких електропередач застосовують шунтуючі реактори. За своєю конструкцією вони близькі до трансформаторів і автотрансформаторів. Однак шунтуючі реактори – це індуктивності, призначені для компенсації ємнісного опору ліній великої протяжності. Їх включають безпосередньо по кінцях ліній надвисоких напруг, підключають також до шин середньої напруги і до третинним обмоткам автотрансформаторів на підстанціях далеких електропередач. В експлуатації перебувають шунтуючі реактори з відбором потужності, які мають вторинні обмотки або відгалуження від основної обмотки, що використовуються для підключення навантаження.

5.1. Усунення дефектів шунтуючих реакторів РОДЦ – 60000/500

В енергосистемах на працюючих реакторах РОДЦ-60000/500 (рис 5.1) виявлено два види дефектів:

Місцевий нагрів алюмінієвих електромагнітних екранів встановлених у верхній і нижній пресуючих плитах активної частини.

Такі порушення супроводжуються збільшенням концентрацій розчинених в маслі газів, що перевищує в кілька разів норму, наведену в «Методичних вказівках по діагностиці розвиваються дефектів за результатами хроматографічного аналізу газів, розчинених в маслі силових трансформаторів».

Робота реакторів з подібними дефектами унеможлиблює їх нормальну експлуатацію, оскільки призводить до погіршення інших електричних характеристик масла, а при обриві екрану можливий пробій ізоляційного проміжку (екран – заземлення деталі) з газоутворенням і подальшим спрацюванням газового реле.

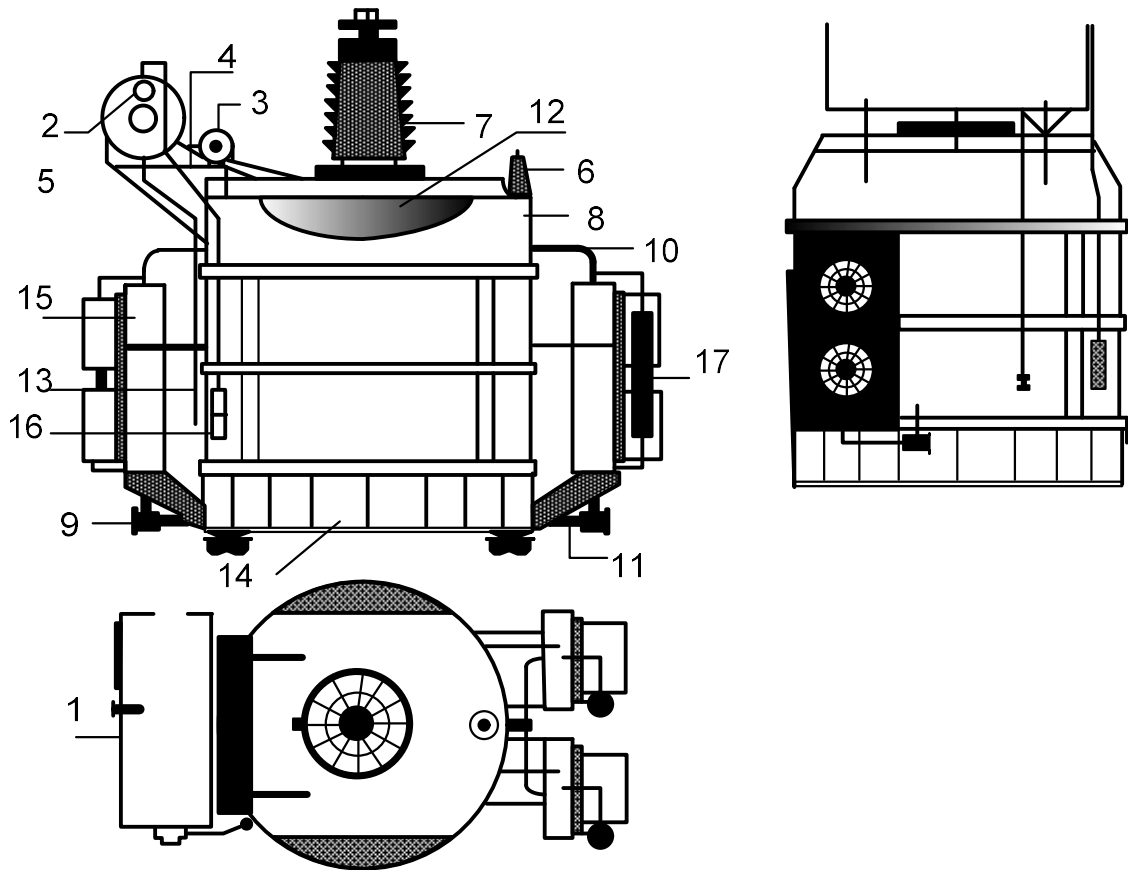


Рисунок 5.1 – Реактор РОДЦ-60000/500. 1 – розширювач, 2 – показчик рівня масла; 3 – бак тиску введення, 4 – реле газове, 5 – клапан відсічний, 6 – введення нейтральний; 7 – введення 500 кВ; 8 – бак реактора, 9 – маслонасос; 10 – нагнітаючий маслопровід, 11 – відсмоктувальний маслопровід, 12 – клапан запобіжний, 13 – доливання масла, 14 – відбір прогрітого масла; 15 – маслоохолоджувач, 16 – воздухоосушувач; 17 – абсорбуючий фільтр замикання електростатичних екранів на заземлену магнітну систему (в нижній її частині) або обрив електростатичних екранів з порушенням електричного зв'язку в схемі їх заземлення.

Для виявлення замикання електростатичних екранів необхідно перевіряти їх стан шляхом вимірювання опорів резисторів і кута діелектричних втрат ізоляції кожного екрану, приєднаного до свого введення 0,5 кВ, і порівняння з паспортними даними реактора.

Замикання на заземлену магнітну систему усувається при позачерговій ревізії реактора. Якщо за умовами експлуатації ревізія найближчим часом

неможлива, тоді до введення 0,5 кВ на кришці реактора, до якого приєднаний екран, слід підключити заземлений опір 350-400 Ом потужністю не менше 20 Вт. При обриві екрану реактор повинен відключатися до усунення дефекту.

Другий дефект супроводжується підвищеними концентраціями розчинених в маслі газів через слабкого місцевого нагріву. Таку несправність рекомендується виправляти із залученням заводу-виготовлювача.

5.2. Якість та надійність шунтуючих реакторів 500 кВ

Для підвищення технічного рівня шунтуючих реакторів РАО «ЄЕС Росії» спільно з ВАТ «Електрозавод» ухвалили наступні рішення:

вимірювати при введенні в експлуатацію рівні шуму поблизу шунтуючих реакторів, вібрацій на поверхні бака, віброускорень на газовому реле з подальшим оформленням даних в акті включення;

переглянути норми вібрацій за пропозиціями експлуатаційників з метою зменшення;

змінити конструкцію баків реакторів РОДЦ-60000/500 і РОДЦ-110000/750, щоб виключити локальні підвищені рівні вібрацій;

виробляти внутрішній огляд і при необхідності видаляти алюмінієвий пил з активної частини спільно з експлуатуючими організаціями за їх заявками;

уточнити вимоги по вібраціям газового реле (Бухгольца) термосигналізатори ТКП-160 та інших комплектуючих вузлів;

пам'ятати, що рівень вібрації повинен вимірюватися тільки повіреною апаратурою;

розробити рекомендації за єдиною методикою відбору проб масла та проведення хроматографічного аналізу газів в маслі шунтуючих реакторів;

замінити дефектні гумові ущільнення, запірну арматуру і маслонуоси спільно з експлуатуючими організаціями за планом-графіком;

змінити конструкцію баків в частині винесення приладів на окрему стійку.

6. ПОЗНАХУНОК СТРУМІВ КЗ

$$s_{\delta} = 100 \text{ MBA}; U_{\delta} = U_{\text{ср.ном}}$$

$$X_{\Gamma} = X'_{\text{д}} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\Gamma.\text{ном}}}; \quad (1)$$

$$X_{\Gamma} = 0,131 \cdot \frac{100}{15} = 0,87$$

$$X_{\text{T}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{T.ном}}}; \quad (2)$$

$$X_{\text{T3}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,42;$$

$$X_{\text{TR1}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{100}{1,6} = 3,44;$$

$$X_{\text{TR2}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{1,6} = 4,06;$$

$$X_{\text{w}} = X_{\text{пит.}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{ср.н}}^2}; \quad (3)$$

$$X_{\text{w}} = 0,4 \cdot 40 \cdot \frac{100}{37^2} = 1,17$$

$$X_{\text{с}} = X_{\text{с.ном.}} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{с.ном}}}; \quad (4)$$

$$X_{\text{с}} = 0,38 \cdot \frac{100}{1370} = 0,03;$$

$$X_{\text{ср}} = X_{\text{р}} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{ср.н}}^2}; \quad (5)$$

$$X_{\text{ср}} = 0,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,23.$$

Визначаємо струми КЗ для точки К₁. Спростимо заступну схему:

$$X_1 = \frac{X_{\text{w}}}{3} + X_{\text{с}} = \frac{1,17}{3} + 0,03 = 0,42;$$

$$X_2 = \frac{X_{\Gamma}}{2} = \frac{0,87}{2} = 0,44;$$

$$X_3 = \frac{X_{\Gamma 3}}{2} = \frac{0,42}{2} = 0,21;$$

$$X_4 = \frac{X_2}{2} = \frac{0,44}{2} = 0,22;$$

$$X_5 = \frac{X_{\text{ср}}}{2} = \frac{0,23}{2} = 0,12$$

$$X_6 = X_2 + X_5 = 0,44 + 0,12 = 0,56;$$

$$X_7 = \frac{X_4 \cdot X_6}{X_4 + X_6} + X_3 = \frac{0,22 \cdot 0,56}{0,22 + 0,56} + 0,21 = 0,37.$$

Базовий струм [2]:

$$I_{\text{бi}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.нi}}^2}; \quad (6)$$

$$I_{\text{бi}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}.$$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ:

$$I_{\text{п,оi}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{бi}}}{X_{\text{рез.}*}}, \quad (7)$$

де $X_{\text{рез.}*}$ – результуючий опір до місця КЗ, в.о.;

$$E'' = \begin{cases} 1,08 - \text{для генераторів} \\ 1,0 - \text{для енергосистем та власних потреб} \end{cases}$$

$$I_{\text{п,о}_{\Sigma}} = \frac{1,08 \cdot 1,56}{0,37} = 4,55 \text{ кА};$$

$$I_{\text{п,о}_c} = \frac{1 \cdot 1,56}{0,42} = 3,71 \text{ кА}; \quad I_{\text{п,о}_c} = \frac{1 \cdot 1,56}{0,42} = 3,71 \text{ кА}.$$

Визначаємо складові струмів КЗ:

періодичну: $I_{\text{п,т}} = \gamma_{\text{п,т}} \cdot I_{\text{п,о}};$

$$- \text{ аперіодичну: } i_{\alpha, \tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi, o} \cdot e^{-\tau/Ta}; \quad (8)$$

$$- \text{ ударний струм: } i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\Pi, o},$$

$$\text{де } \tau = t_{\text{вв}} + 0,01, \quad (9)$$

де $t_{\text{вв}}$ – власний час вимикання вимикача, с.

Попередньо встановлюємо вимикачі:

а) ВРУ-35 кВ С-35М-630-10У1 $t_{\text{вв}} = 0.05$ с;

б) ГРУ-10 кВ ВЭ-10-2500-31,5-У3 $t_{\text{вв}} = 0.06$ с;

в) РУВП-6 кВ ВК-10-630-20У2 $t_{\text{вв}} = 0.05$ с.

Визначимо значення коефіцієнтів $\gamma_{\Pi, \tau}$ для генераторних віток (точка К₁):

$$I'_{\text{ном}} = \frac{I_{\text{Г. ном } \Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср. ном}}}; \quad (10)$$

$$I'_{\text{ном}} = \frac{6 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,41 \text{ кА};$$

$$I'_{\text{ном}} = \frac{I_{\Pi, o}}{I'_{\text{ном}}} = \frac{4,55}{13,41} = 3,23.$$

За допомогою кривих рисунку 4.2 [2] для часу $\tau = t = 0,06$ визначаємо, що $\gamma_{\Pi, \tau} = 0,92$.

$$I_{\Pi, \tau \text{Г} \Sigma} = 0,92 \cdot 4,55 = 4,19 \text{ кА};$$

$$i_{\alpha, \tau \text{Г} \Sigma} = \sqrt{2} \cdot 4,55 \cdot 0,68 = 4,36 \text{ кА};$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,94 \cdot 4,55 = 12,45 \text{ кА}.$$

Для інших точок розрахунки виконуються аналогічно. Результати розрахунків зводимо у таблицю 2.16.

Таблиця 1 – Дані для визначення складових струмів КЗ

Точка КЗ	Вітка живлення	τ , с	T_a , с	K_y	$e^{-\tau/Ta}$	$\gamma_{\Pi, \tau}$
К ₁	Г _Σ	0,06	0,16	1,94	0,68	0,92
	С	0,06	0,02	1,608	0,06	1
К ₂	Г _{1,2}	0,07	0,106	1,913	0,50	0,91
	Г _{3÷6}	0,07	0,16	1,94	0,63	0,96
	С	0,07	0,02	1,608	0,03	1
К ₃ , К ₄	Г _Σ +С	0,06	0,037	1,802	0,15	1

Для РУ ВП-6 кВ розрахунковою точкою є точка, К₃ де більше рівень струмів КЗ: $I_{п,о,G\Sigma+C} = 2,54$ кА; $I_{п,о,D} = 0,97$ кА.

Визначаємо складові струмів КЗ від електродвигунів власних потреб:

$$\left. \begin{aligned} I_{п,\tau,D} &= I_{п,о,D} \cdot e^{-\tau/0,07}; \\ i_{\alpha,\tau,D} &= I_{п,о,D} \cdot e^{-\tau/0,04}; \\ i_{y,D} &= \sqrt{D} \cdot K_{y,D} \cdot I_{п,о,D} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$I_{п,\tau,D} = 0,97 \cdot e^{-0,06/0,07} = 0,41 \text{ кА};$$

$$i_{\alpha,\tau,D} = \sqrt{2} \cdot 0,97 \cdot e^{-0,06/0,04} = 0,27 \text{ кА};$$

$$i_{y,D} = \sqrt{2} \cdot 1,65 \cdot 0,97 = 226 \text{ кА}.$$

Таблиця 2 – Зведена таблиця струмів КЗ

Точка КЗ	Вітка живлення	$I_{п,о}$, кА	$I_{п,\tau}$, кА	$i_{\alpha,\tau}$, кА	i_y , кА	Примітка
К ₁	G _Σ	4,55	4,19	4,36	12,45	
	C	3,71	3,71	0,31	8,41	
	Сума	8,26	7,90	4,67	20,86	ком. апаратура та шини
К ₂	G _{2÷6}	19,20	18,43	17,06	52,52	
	C	5,99	5,99	0,25	13,58	
	Сума (без G ₁)	25,19	24,42	17,31	66,10	ком. апаратура
	G ₁	6,84	6,22	4,82	18,45	
	Сума	32,03	30,64	22,13	84,55	шини
К ₃	G _{Σ+C}	2,54	2,54	0,54	6,45	ком. апаратура
	D	0,97	0,41	0,27	2,26	
	Сума	3,51	2,95	0,81	8,71	шини

7. ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ СТРУМІВ ПРИЄДНАНЬ ТА ІМПУЛЬСІВ КВАДРАТИЧНОГО СТРУМУ

ВРУ-35 кВ

$$I_{\max} = 1,5 \cdot \frac{S_{\text{ТЗ.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 1,5 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35} = 619 \text{ А};$$

$$B_k = I_{\Pi, o}^2 (t_{\text{ВИМ.}} + T_a) = 4,55^2 (0,2 + 0,16) + 3,71^2 (0,2 + 0,02) = \\ = 7,45 + 3,03 = 10,48 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

ВРУ-10 кВ

$$I_{\max} = \frac{I_{\Gamma. \text{НОМ}}}{0,95} = \frac{2295}{0,95} = 2416 \text{ А};$$

$$B_k = B_{\Pi c} + B_{\Pi \Gamma} + B_{\Pi \Gamma c} = \left(I_c^2 + B_{\text{хпг}} \cdot I_{\Pi, o, \Gamma}^2 + 2 \cdot I_c \cdot T_x \cdot I_{\Pi, o, \Gamma} \right) \cdot t_{\text{ВИМ.}};$$

$$B_k = \left(25,19^2 + 0,62 \cdot 6,84^2 + 2 \cdot 25,19 \cdot 0,76 \cdot 6,84 \right) \cdot 0,3 = 277,64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{ka} = I_c^2 \cdot T_{a, c} \cdot I_{\Pi, o, \Gamma}^2 \cdot T_{a, \Gamma} + \frac{4 I_c \cdot I_{\Pi, o, \Gamma}}{\frac{1}{T_{a, c}} + \frac{1}{T_{a, \Gamma}}}; \quad (12)$$

$$B_{ka} = 25,19^2 \cdot 0,16 \cdot 6,84^2 \cdot 0,106 + \frac{4 \cdot 25,19 \cdot 6,84}{\frac{1}{0,16} + \frac{1}{0,106}} = 150,42 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{ka} = 277,64 + 150,42 = 428,06 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

РУВП-6 кВ:

$$I_{\max} = 1,5 \cdot \frac{S_{\text{ТР.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6} = 154 \text{ А};$$

$$B_k = I_{\Pi, o, C}^2 (t_{\text{ВИМ.}} + T_{a, cx}) + I_{\Pi, o, D}^2 (0,5 + T'_D + T_{a, cx}) + 2 I_{\Pi, o, D} \cdot I_{\Pi, o, C} \cdot (T'_D + T_{a, cx}), (13)$$

$$T_{a, cx} = \frac{T_{a, c} \cdot I_{\Pi, o, c} + T_{a, D} \cdot I_{\Pi, o, D}}{I_{\Pi, o, c} + I_{\Pi, o, D}} = \frac{0,037 \cdot 2,54 + 0,04 \cdot 0,97}{2,54 + 0,97} = 0,038 \text{ с};$$

$$B_k = 2,54^2 (0,3 + 0,08) + 0,97^2 (0,5 + 0,07 + 0,038) + 2 \cdot 0,97 \cdot 2,54 \cdot (0,07 + 0,038) = 2,78$$

$$\kappa A^2 \cdot c;$$

8. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОЇ АПАРАТУРИ

ВРУ-35 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	С-33М-630-10У1	РНД33,1-35У/1000У1
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 619 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ кА}$	$I_{ном} = 1000 \text{ кА}$
$I_{п\tau} = 7,9 \text{ кА}$	$I_{в.ном} = 10 \text{ кА}$	-
$i_{a\tau} = 4,67 \text{ кА}$	$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{в.ном} =$ $= \sqrt{2} \cdot 0,25 \cdot 10 = 3,53 \text{ кА}$	-
$\sqrt{2} \cdot I_{п,\tau} + i_{a,\tau} = 15,81 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{вим.ном} (1 + \beta_H) = 17,63 \text{ кА}$	
$I_{п,0} = 8,26 \text{ кА}$	$I_{дин} = 50 \text{ кА}$	-
$i_y = 20,86 \text{ кА}$	$i_{дин} = 26 \text{ кА}$	$i_{дин} = 63 \text{ кА}$
$B_k = 10,48 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

ВРУ-10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	ВЭ-10-2500-31,5У3	Комірка КРУ типу КЭ-10/31,5
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 2416 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ кА}$	$I_{ном} = 3200 \text{ кА}$
$I_{п\tau} = 24,42 \text{ кА}$	$I_{в.ном} = 31,5 \text{ кА}$	-
$i_{a\tau} = 17,31 \text{ кА}$	$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,2 \cdot 31,5 = 8,88 \text{ кА}$	-
$\sqrt{2} \cdot I_{п,\tau} + i_{a,\tau} = 51,74 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{вим.ном} (1 + \beta_H) = 53,3 \text{ кА}$	
$I_{п,0} = 25,19 \text{ кА}$	$I_{дин} = 31,5 \text{ кА}$	-
$i_y = 66,10 \text{ кА}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	-
$B_k = 428,06 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	-

ВРУ-6 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	ВЭ-10-630-20У2	Комірка КРУ типу КМ-1
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{max} = 154 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ кА}$	$I_{ном} = 100 \text{ кА}$
$I_{п\tau} = 2,54 \text{ кА}$	$I_{в.ном} = 20 \text{ кА}$	-
$i_{a\tau} = 0,54 \text{ кА}$	$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,22 \cdot 20 = 6,2 \text{ кА}$	-
$I_{п,0} = 2,54 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	-
$i_y =$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	-
$B_k = 2,78 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	-

9 ВИБІР ЛІНІЙНИХ РЕАКТОРІВ

Максимальне навантаження району:

$$P'_{p.\max} = 64,2 \text{ МВт.}$$

Число секцій ГРУ-10 кВ: $n_c = 3$ шт.

Потужність секції:

$$P_c = \frac{64,2}{3} = 21,4 \text{ МВт.}$$

Число реакторів на секції: $n_{rc} = 1$.

Струм реактора:

$$I_p = \frac{2,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 1546,2 \text{ А.}$$

Число фідерів

$$n_{\phi_{\text{розр.}}} = \frac{21,4}{5} = 4,28 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n_{\phi} = 6$ шт.

Струм вітки реактора:

$$I_{в.р.} = \frac{1546,2}{2} = 773,1 \text{ А.}$$

$$I_{\phi} = \frac{773,1}{3} = 257,7 \text{ А.}$$

Тип вимикача: ВММ-10А-400-10У2

$$I_{\text{вим.ном}} = 10 \text{ кА.}$$

Визначимо результуючий опір кола КЗ при відсутності реактора

$$X_{\text{рез.}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\Pi, \text{o}, \Sigma}};$$

$$X_{рез.} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 32,03} = 0,189 \text{ Ом.}$$

Потрібний опір кола КЗ:

$$X_{рез.}^{пот.} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{п,о,Σ}};$$

$$X_{рез.}^{пот.} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,607 \text{ Ом};$$

Потрібний опір реактора:

$$X_{рез.}^{пот.} = 0,607 - 0,189 = 0,418 \text{ Ом};$$

Встановлюємо реактор типу РБСД 10-2х1000-0,45У3:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{ном} = 2 \times 1000 \text{ А};$$

$$X_p = 0,45 \text{ Ом};$$

$$K_{зв} = 0,49;$$

$$i_{дин.} = 29 \text{ кА};$$

$$I_T = 11,4 \text{ кА};$$

$$i_T = 8 \text{ с.}$$

Результуючий опір кола КЗ з урахуванням реактора:

$$X'_{рез.} = 0,189 - 0,45 = 0,639 \text{ Ом.}$$

Фактичне значення періодичної складової струму КЗ за реактором:

$$I_{п,о} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,639} = 9,5 \text{ кА.}$$

Ударний струм КЗ:

$$i_y = \sqrt{3} \cdot K_y \cdot I_{п,о} = \sqrt{3} \cdot 1,956 \cdot 9,5 = 26,2 > i_{дин} = 29 \text{ кА}$$

Умова термічної стійкості

$$B_k = I_{\Pi, o}^2 (t_{\text{вим.}} + T_a) = 9,52(1,5 + 0,23) = 156,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_T^2 \cdot t_T = 11,4^2 \cdot 8 = 1040 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Залишкова напруга на шинах ГРУ при КЗ за реактором:

$$U_{\text{зал}\%} = X_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\Pi, o} \cdot 100}{U_{\text{ном}}};$$

$$U_{\text{зал}\%} = 0,45 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 9,5 \cdot 100}{10} = 73\% > U_{\text{зал.доп.}} = 65\%.$$

Втрата напруги при протіканні максимального струму в нормальному режимі роботи

$$\Delta U_{p\%} = X_p \cdot (1 - K_{\text{дв}}) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{в.р.}} \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot \sin \varphi ;$$

$$\Delta U_{p\%} = 0,45 \cdot (1 - 0,49) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 0,7731 \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot 0,6 = 1,84\% < \Delta U_{\text{р.доп.\%}} = 2\%.$$

Реактор задовольняє усім вимогам.

10 ОХОРОНА ПРАЦІ

10.1. Розрахунок заземляючого пристрою вРУ-35 кВ

В установках з ізольованою нейтраллю опір опір ЗП повинен бути [4]:

$$R_3 = 250/I_3 \leq R_{3.\text{дон}} = 10 \text{ Ом}$$

де I_3 – розрахунковий струм замикання на землю, А.

$$I_3 = U \cdot l / 350$$

де U – між фазна напруга, кВ; l – довжина електричної мережі, км;

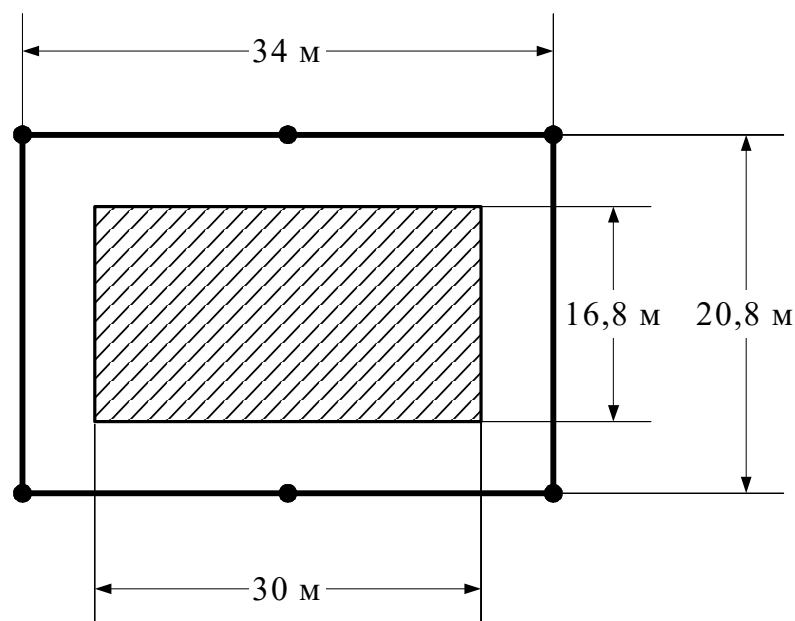


Рисунок 10.1 – План заземляючого пристрою ВРУ 35 кВ

$$I_3 = 35 \cdot 3 \cdot 40 / 350 = 12 \text{ А}$$

$$R_3 = 250 / 12 = 20,83 \text{ Ом} > R_{3.\text{дон}} = 10 \text{ Ом}$$

Приймаємо $R_3 = 10 \text{ Ом}$

ЗП виконується у вигляді прямокутника з горизонтальних та вертикальних заземлювачів. В якості штучних вертикальних заземлювачів використовують стержні довжиною (3-5) м і діаметром (12-20) мм, а горизонтальні заземлювачі – сталіні полоси 40x4 мм.

Питомий опір землі при нормальній вологості складає $\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{мм}$.
Обладнання ВРУ займає площу $30 \times 16,8 \text{ м}$. ЗП виконуємо у вигляді контуру з
полоси $40 \times 4 \text{ мм}$, що прокладено на глибині $t = 0,7 \text{ м}$ навколо обладнання.
Загальна довжина полоси $l = 109,6$

Опір полоси заземлення:

$$r_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{розр}}^{\Gamma}}{l} \cdot \lg \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}$$

де l – довжина полоси, м; b – ширина полоси; t – глибина закладення, м; $\rho_{\text{розр}}^{\Gamma}$ –
розрахунковий опір землі для горизонтальних заземлювачів, $\text{Ом} \cdot \text{м}$.

$$\rho_{\text{розр}}^{\Gamma} = K_C \cdot \rho$$

де K_C – коефіцієнт сезонності;

$$\rho_{\text{розр}}^{\Gamma} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$r_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 600}{109,6} \cdot \lg \frac{2 \cdot 109,6^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 11,87 \text{ Ом}$$

Попередньо встановлюємо в контурі 6 вертикальних заземлювачів
довжиною $l_B = 6 \text{ м}$.

Середня відстань між вертикальними заземлювачами:

$$a = \frac{109,6}{6} = 18,3 \text{ м}$$

З таблиці 7.4 [5] для $\frac{a}{l_B} = \frac{18,3}{6} = 3$ визначаємо коефіцієнт використання

полоси $\eta_{\Gamma} = 0,64$

Опір полоси в контурі з 6 заземлювачами:

$$R_{\Gamma} = \frac{r_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{11,87}{0,64} = 18,55 \text{ Ом}$$

Необхідний опір вертикальних заземлювачів:

$$R_B = \frac{R_{\Gamma} R_3}{R_{\Gamma} - R_3};$$

$$R_B = \frac{18,55 \cdot 10}{18,55 - 10} = 21,7 \text{ Ом};$$

Опір одного вертикального заземлювача:

$$r_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{розр}}^B}{l_B} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t' + l_B}{4t' - l_B} \right)$$

де l_B – довжина стержня, м; d – діаметр стержня, м; t' – глибина закладення, яка дорівнює відстані від поверхні землі до середини заземлювача, м; $\rho_{\text{розр}}^B$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м.

$$\rho_{\text{розр}}^B = K_C \cdot \rho = 1,15 \cdot 200 = 230 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$r_B = \frac{0,366 \cdot 230}{6} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 6}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3,7 + 6}{4 \cdot 3,7 - 6} \right) = 44,69 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_B = \frac{r_B}{R_B \cdot \eta_B},$$

де η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (таблиця 7.5 [5]).

$$n_B = \frac{44,69}{21,7 \cdot 0,80} = 2,6$$

Приймаємо в контурі 3 вертикальних заземлювача.

10.2. Грозозахист ВРУ –35 кВ

Вихідні данні:

- висота блискавковідводу: $h=12$ м
- розрахункова висота: $h=12$ м

При $\frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 12 = 8 \text{ м} > h_x = 7,5 \text{ м}$:

а) радіус зони захисту :

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25h_x)$$

б) ширина зони захисту:

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x),$$

де

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L^2}$$

де L – відстань між блискавковідводами, м.

Таблиця 10.1– Дані для побудови зони захисту блискавковідводів

Пари блискавковідводів	L , м	h_0 , м	b_x , м	r_x , м
1-2,2-3,4-5,5-6	15	11,2	5,5	3,94
1-4,2-5,3-6	16,8	11	4,9	3,94
1-5,2-4,2-6,3-5	22,5	10,3	2,8	3,94

Схема розташування блискавковідводів зображена на рисунках 10.2, 10.3.

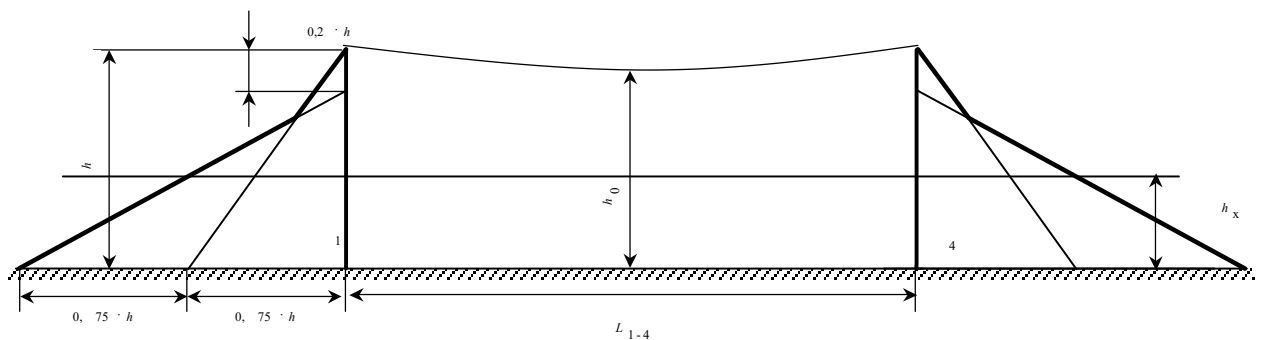


Рисунок 10.2 – Розташування блискавковідводів, вид з боку

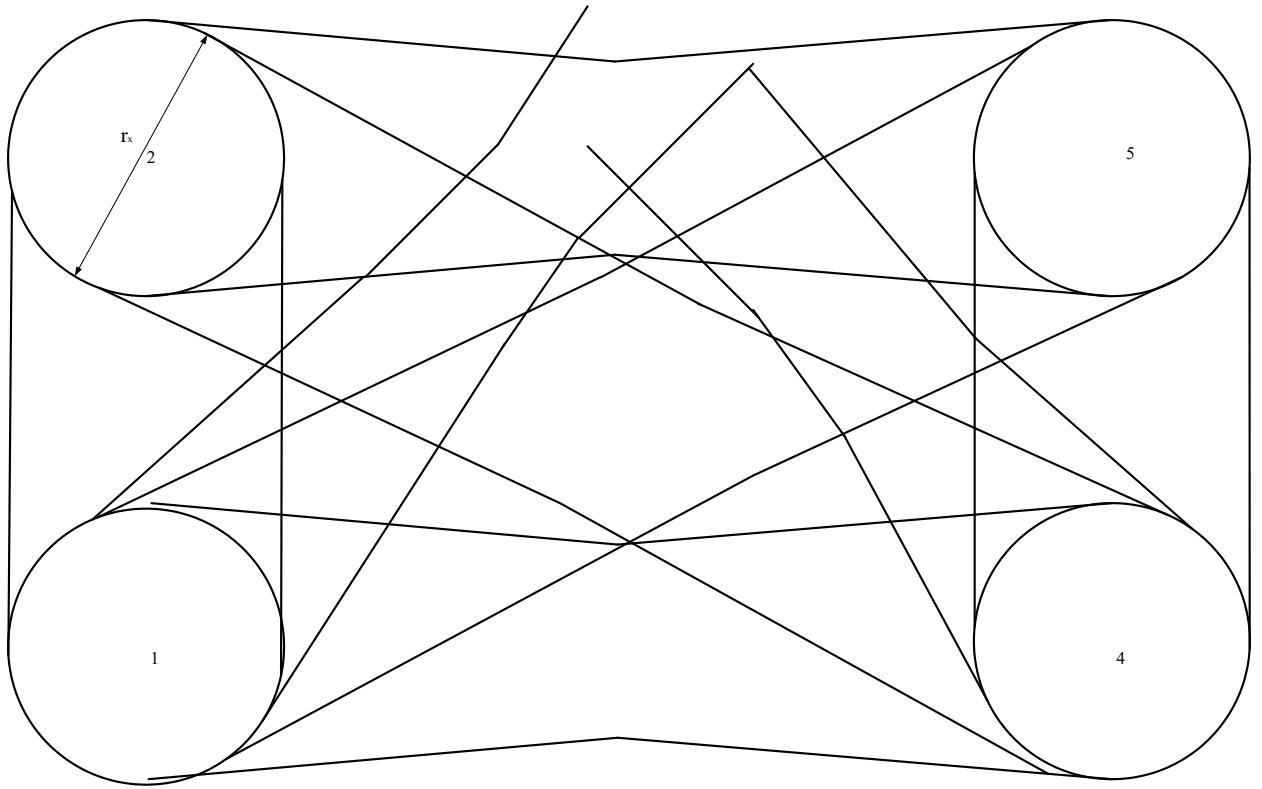


Рисунок 10.3 – Розташування блискавковідводів, вид зверху

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто основні конструкції струмообмежуючих реакторів.

Проведено аналіз ймовірності спрацювання реакторів.

Виконано розрахунок струмів короткого замикання для заданої схеми електричної станції.

Вибрано комутаційне обладнання.

Проведено вибір лінійних та секційних реакторів.

В розділі охорони праці розраховано заземлюючий пристрій та грозозахист для ВРУ 35 кВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лежнюк П. Д., Лагутін В. М., Тептя В. В. Проектування електричної частини електричних станцій: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.
2. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Ч. 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ "КПІ" ; уклад. Є. І. Бардик, П. Л. Денисюк, Ю. В. Безбереж'єв. - Електронні текстові дані (1 файл: 4,75 Мбайт). - Київ : НТУУ "КПІ", 2011.
3. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Ч. 2 [Електронний ресурс] : навчальний посібник / НТУУ "КПІ" ; уклад. Є. І. Бардик, П. Л. Денисюк, Ю. В. Безбереж'єв. - Електронні текстові дані (1 файл: 5,13 Мбайт). - Київ : НТУУ "КПІ", 2012.
4. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко/КПІ ім. Ігоря Сікорського, - Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт). Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. 183 с.
5. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів : підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова. К. : НАУ, 2018. 312 с.
6. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу "Електрична частина станцій та підстанцій" (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с.
7. Бардик Є.І., Лукаш Н.П. Електрична частина електростанцій і підстанцій: навчальний посібник. К. НТУУ "КПІ" 2011р. 220с.

8. Експлуатація електрообладнання потужних блоків електростанцій у різних режимах роботи. - В.С. Король, В.М. Лагутін, Київ НМК ВО 1992 р.
9. Методичні вказівки по визначенню основних техніко-економічних показників роботи електричних станцій. О.Я.Попов, Л.О.Попова
10. ДБН А.3.2-2-2009 (НПАОП 45.2-7.02-12) Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення
11. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України.
12. ДБН В.1.1-7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
13. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ (зі змінами).
14. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування (зі змінами).
15. ДСН 239-96 (ДНАОП 0.03-3.30-96) Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань.
16. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
17. ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT).
18. ДСТУ 4237-1-1:2014, ДСТУ 4237-1-2:2014 Вогневі випробування електричних та волоконно-оптичних кабелів.
19. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпечність. Загальні вимоги (ГОСТ 12.1.013-78, MOD).
20. ДСТУ-Н Б В.1.1-27-2010 Будівельна кліматологія.
21. ДСТУ-Н Б Д.2.2-48:2012 Вказівки щодо застосування ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (ДБН Д.1.1-2-99, MOD).
22. ДСТУ-Н Б Д.2.3-40:2012 Вказівки щодо застосування ресурсних елементних кошторисних норм на монтаж устаткування (ДБН Д.1.1-3-99, MOD).

23. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва (зі змінами).
24. Закон України "Про екологічну експертизу".
25. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення".
26. Закон України "Про ліцензування видів господарської діяльності".
27. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища".
28. Закон України "Про охорону праці".
29. Закон України "Про регулювання містобудівної діяльності".
30. Кодекс цивільного захисту України.
31. НАПБ В.01.056-2013/111 (СОУ-Н ЕЕ 40.1-21677681-88:2013) Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція.
32. НПАОП 0.00-1.01-07 Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.
33. НПАОП 40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01-97) Правила безпечної експлуатації електроустановок.
34. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
35. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
36. Порядок розроблення проектної документації на будівництво (Наказ від 23.03.2012 р. № 122).
37. Правила охорони електричних мереж (Постанова від 04.03.1997 № 209).
38. Правила охорони магістральних трубопроводів (Постанова від 16.11.2002 № 1747).
39. Правила пожежної безпеки в Україні (Наказ від 30.12.2014 № 1417).

40. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (Наказ від 25.07.2006 № 258).
41. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (станом на 2017 р.).
42. СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства.
43. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.509:2005 Експлуатація силових кабельних ліній напругою до 35 кВ. Інструкція.
44. СОУ-Н МЕВ 42.2-37471933-45:2011. Терміни проектування та будівництва підстанцій напругою від 6 кВ до 150 кВ та ліній електропередавання напругою від 0,38 кВ до 150 кВ. Норми.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ

Назва роботи: «Особливості експлуатації струмообмежуючих реакторів»

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: д.т.н., зав. кафедри ЕСС Комар В. О.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	99
Загальна схожість	1

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 Барчишен Є.П.
 (підпис)

Барчишен Є.П.
 (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневецький С.Я.
 (прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби) (підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАЦІЙНА ЧАСТИНА

«Вплив відновлюваних джерел енергії на режими електричних мереж
операторів системи розподілу»

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРУМООБМЕЖУЮЧИХ РЕАКТОРІВ

Е-21бз

Барчишен Євгеній Павлович

КОНСТРУКЦІЯ РЕАКТОРІВ

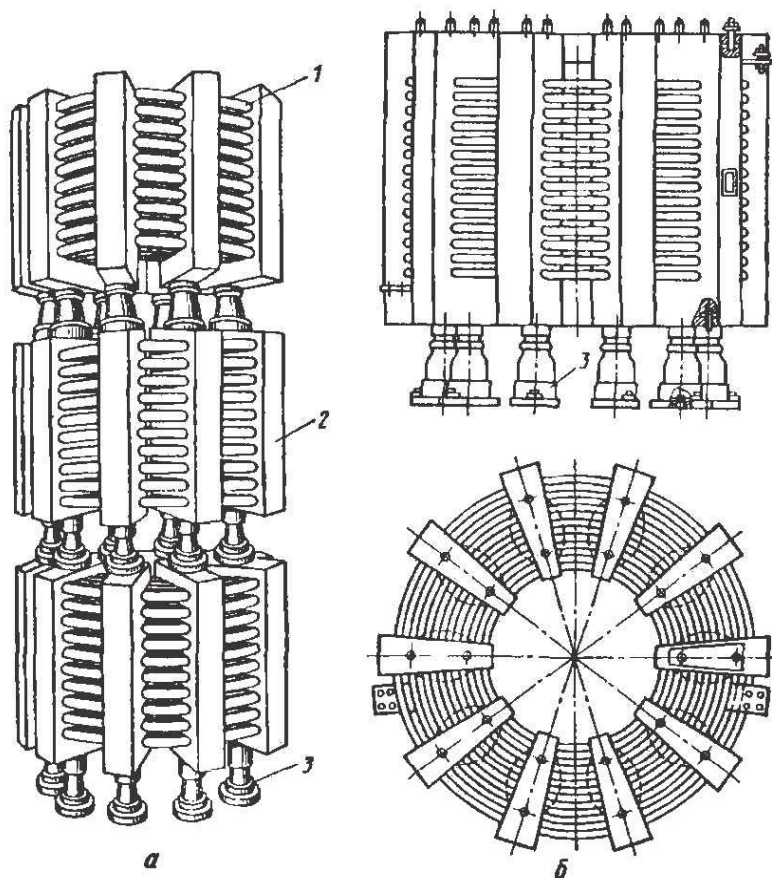


Рисунок 1 – Бетонний реактор РБ-10 з вертикальним розташуванням фаз: а – загальний вигляд; б – фаза реактора

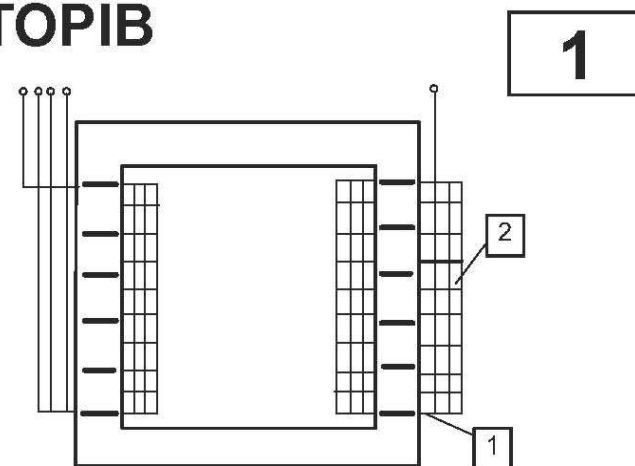


Рисунок 2 – Дугогасильний реактор, який має магнітопровід з розподіленим повітряним зазором

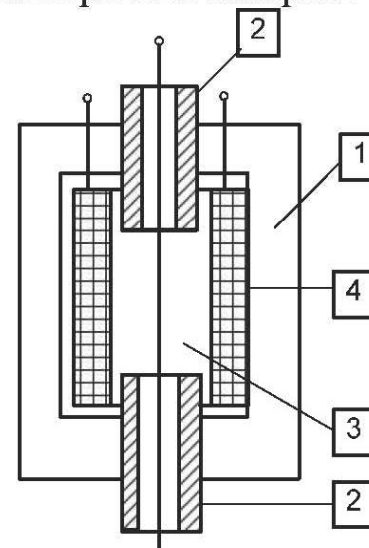


Рисунок 3 – Дугогасильний реактор з магнітопроводом плунжерного типу

ШУНТУЮЧІ РЕАКТОРИ

2

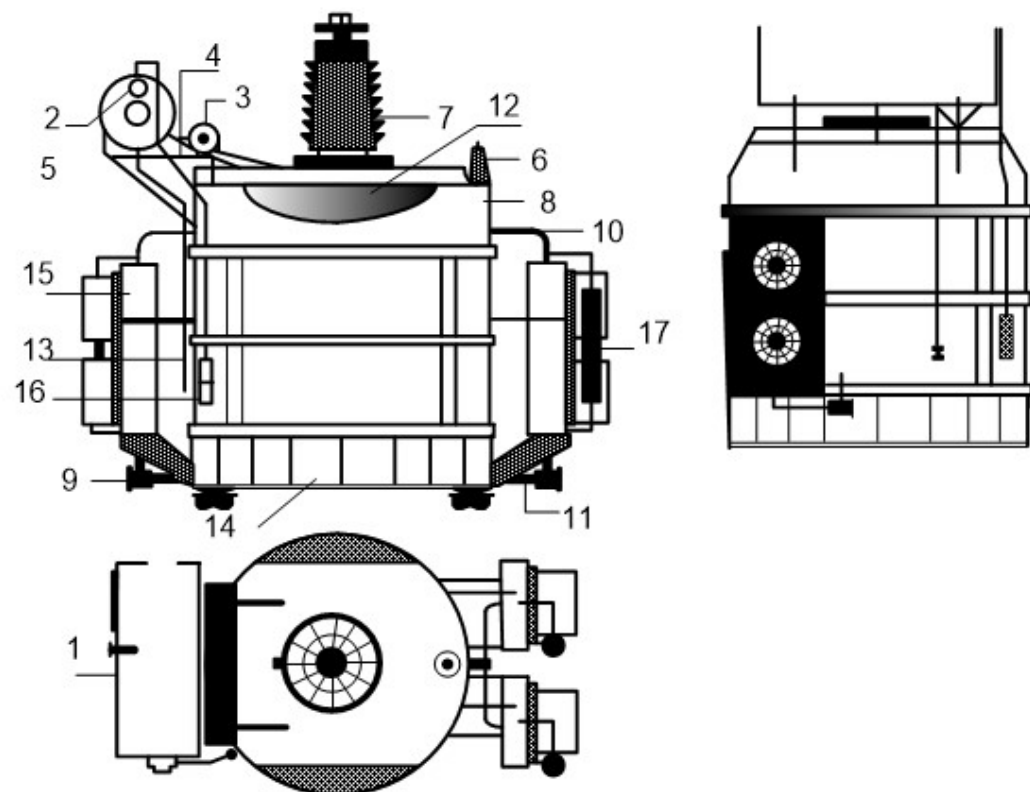
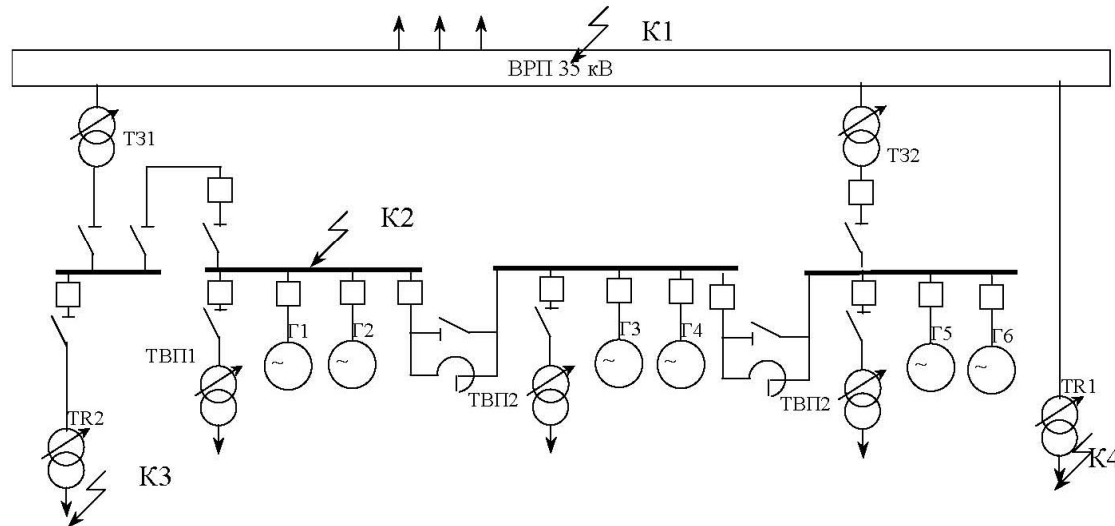


Рисунок 5.1 – Реактор РОДЦ-60000/500. 1 – розширювач, 2 – показчик рівня масла, 3 – бак тиску введення, 4 – реле газове, 5 – клапан відсічний, 6 – введення нейтральний, 7 – введення 500 кВ; 8 – бак реактора, 9 – маслонусос, 10 – нагнітаючий маслопровід, 11 – відсмоктувальний маслопровід, 12 – клапан запобіжний, 13 – доливання масла, 14 – відбір прогрітого масла; 15 – маслоохолоджувач, 16 – воздухоосушувач, 17 – абсорбуючий фільтр замикання електростатичних екранів на заземлену магнітну систему (в нижній її частині) або обрив електростатичних екранів з порушенням електричного зв'язку в схемі їх заземлення.

ВИБІР СТРУМООБМЕЖУЮЧИХ РЕКАТОРІВ

3



Залишкова напруга на шинах ГРУ при КЗ за реактором:

$$U_{\text{зал}\%} = X_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п.о}} \cdot 100}{U_{\text{ном}}};$$

$$U_{\text{зал}\%} = 0,45 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 9,5 \cdot 100}{10} = 73\% > U_{\text{зал.доп.}} = 65\%.$$

Втрата напруги при протіканні максимального струму в нормальному режимі роботи

$$\Delta U_{\text{р}\%} = X_p \cdot (1 - K_{\text{дв}}) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{в.р.}} \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot \sin \varphi;$$

$$\Delta U_{\text{р}\%} = 0,45 \cdot (1 - 0,49) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 0,7731 \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot 0,6 = 1,84\% < \Delta U_{\text{р.доп.}\%} = 2\%.$$

Висновки

4

- В роботі розглянуто основні конструкції струмообмежуючих реакторів.
- Проведено аналіз ймовірності спрацювання реакторів.
- Виконано розрахунок струмів короткого замикання для заданої схеми електричної станції.
- Вибрано комутаційне обладнання.
- Проведено вибір лінійних та секційних реакторів.
- В розділі охорони праці розраховано заземлюючий пристрій та грозозахист для ВРУ 35 кВ.