

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Проект релейного захисту та
автоматики електрообладнання ТЕЦ

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу група ЕТс-20-1


Підпис

Огурок А.С.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

к.т.н., доц. Майдан П.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.І. Тимощенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

20 06 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка


Шифр і назва

Спеціалізація Електропобутова техніка

Освітня програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


20 06 2023

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

Огурок Андрій Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Проект релейного захисту та автоматики електрообладнання ТЕЦ

керівник роботи Майдан Павло Сергійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 1 03 2023 р. № 5

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20.06.23 р.

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз пристроїв релейного захисту та автоматики. 2. Проектування пристроїв релейного захисту та автоматики. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Загальні висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Електричні апарати для релейних захистів (ДО, А1). 2. Головна схема електричних з'єднань ТЕЦ (ЕЗ, А1). 3. Схема захисту електродвигунів 6 кВ та ТВП 6/0,4 кВ (ЕЗ, А1). 4. Схема захисту робочого ТВП 10/6 кВ (ЕЗ, А1). 5. Схема захистів блоку (ЕЗ, А2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз пристроїв релейного захисту й автоматики	1.06.23	
2. Проектування пристроїв релейного захисту та автоматики	8.06.23	
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність	15.06.23	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	22.06.23	

Студент


Підпис

А.С. Огурок
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Огурок Андрій Сергійович

2. Тема магістерської роботи Проект релейного захисту та автоматики електрообладнання ТЕС

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 80

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____
Вступ. 1 Огляд та аналіз пристроїв релейного захисту та автоматики. 2. Проектування пристроїв релейного захисту та автоматики. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Висновки.

Підпис студента 

"26" 06 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №1 від "21" 06 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4.0/5

Рекомендації ЕК Вонавгажний проект


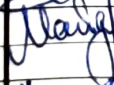


Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

"21" 06 2023 р.

Зміст

	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз пристроїв релейного захисту й автоматики	7
1.1 Головна схема електричних з'єднань та схема власних потреб ТЕЦ	7
1.2 Вибір електрообладнання для головної схеми та схеми власних потреб	11
1.3 Вибір пристроїв РЗА для основних елементів ТЕЦ	16
Висновки до розділу	26
2 Проектування пристроїв релейного захисту та автоматики	15
2.1 Розрахунок струмів КЗ для вибору параметрів спрацьовування пристроїв РЗА	27
2.2 Розрахунок та розробка схем РЗА блоку генератор-трансформатор	29
Висновки до розділу	54
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність	55
3.1 Розрахунок параметрів спрацьовування РЗА	55
Висновки до розділу	77
Загальні висновки	78
Перелік джерел посилань	79

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			
Виконав		Огурок А.С.			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Майдан П.С.			у	4	80
Н.контр.		Пудик С.І.			ХНУ гр. ЕТс-20-2		
Затвер.		Полішук О.С.					
Проект релейного захисту та автоматики електрообладнання ТЕЦ							

Вступ

Загально відомо, що електростанціями називаються установки або підприємства, робота яких призначена для виробництва електроенергії.

Електрична енергія знаходить суттєве застосування в усіх галузях господарства. Велике сприяння цьому дають наступні її властивості, такі як простота використання та універсальність, передача на великі відстані та можливість виробництва у великих кількостях промисловим способом.

Теплоелектроцентрально або ТЕЦ – установка або підприємство призначена для централізованого постачання промислових підприємств та міст не лише електроенергією, а і теплом [1, 2].

Під час проектування та наступної експлуатації будь-якої електроенергетичної системи необхідно враховувати можливість виникнення в системі пошкоджень або ненормальних (аварійних) режимів роботи. Найнебезпечнішими та водночас найпоширенішими видами є так звані короткі замикання (або КЗ). Ненормальні режими роботи та пошкодження системи можуть призводити в свою чергу до виникнення аварій, під якими зазвичай розуміють вимушені порушення нормальної роботи всієї системи або лише частини.

Першопричини виникнення аварій можуть бути досить різними, але здебільшого є результатом своєчасно не виявлених та не виправлених дефектів устаткування, або ж незадовільних проектування, монтажу та наступної експлуатації. Черговий технічний персонал не в змозі в потрібний час виявити виникнення КЗ, або пошкоджений елемент та передати сигнал на відключення його вимикачів. Тому електричні установки необхідно забезпечувати автоматично діючими пристроями, так званим - релейним захистом (РЗА) або запобіжниками, що захищають в тому числі і від виникнення КЗ [1, 3, 4].

Основним призначенням РЗА є автоматичне відключення пошкодженого устаткування від іншої, не пошкодженої частини системи за допомогою

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

використання вимикачів. Важливість даного виду РЗА визначається тим, що без неї взагалі не можлива безперебійна робота електроенергетичних установок.

Метою даної кваліфікаційної роботи є проектування РЗА електричного обладнання, наприклад, міської опалювальної ТЕЦ, потужністю до 360 МВт. Саме тому увага буде приділена розділу проектування РЗА електрообладнання теплової електростанції.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз пристроїв релейного захисту й автоматики

1.1 Головна схема електричних з'єднань та схема власних потреб ТЕЦ

Підбір головної схеми електричних з'єднань є визначальним під час проектування електричної частини будь-якої електростанції, оскільки він дозволяє визначити повний склад та зв'язки між елементами схеми.

Загально відомо, що головною схемою електричних з'єднань (ГСЕЗ) будь-якої електростанції називають сукупність її основного обладнання (генераторів, лінії, трансформаторів), комутаційної та іншої первинної апаратури, збірних шин, з усіма вказаними між ними з'єднаннями. ГСЕЗ повинна забезпечувати безвідмовну видачу потужності електричної станції, що проектується, іншими словами, бути надійною. Вимога надійності є однією з базових, що висувається до схем електричних з'єднань електростанції. Тобто властивість схеми, апарату чи системи виконувати свої функції в різноманітних умовах експлуатації при збереженні вказаних параметрів технологічного процесу. ГСЕЗ електростанцій є технічним документом під час проектування, монтажу та наступної експлуатації обладнання [1, 4].

Другою важливою вимогою, що висуваються до ГС, є економічність, тобто вимога мінімальних витрат матеріальних ресурсів та часу під час монтажу розподільчих установок (РУ), а крім того і мінімальних витрат на експлуатацію встановленого обладнання.

Вельми суттєвою є вимога маневреності ГС, під якою розуміють можливість легкого пристосування схеми до змінних умов роботи обладнання, як під час експлуатації, так і під час розширення або модернізації електричної станції, а також можливість поточного чи капітального ремонту обладнання РУ без порушення нормальної роботи приєднань (ремонтпридатність).

ГС повинна задовольняти встановленим вимогам безпеки в обслуговуванні РУ; серед інших чинників, від яких залежить - простота та наочність ГС.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Наочність схеми та її легка оглядовість у натурі значно підвищують оперативну надійність, знижуючи шанс помилкових дій обслуговуючого персоналу [5, 6].

ГСЕЗ спроектовано згідно схеми видачі потужності електростанції. Для подальших розрахунків ми приймаємо максимальне навантаження на під'єднання в 10 кВ - 70 МВт. Мінімальне навантаження, відповідно, приймаємо на рівні 80% від максимального навантаження, а витрату на власні потреби - 8%.

Згідно з матеріалами типових проєктів, будемо будувати ТЕЦ згідно блокового типу, структурну схему станції наведено на рисунку 1.1. Живлення споживачів генераторної напруги буде виконуватись від комплектних розподільчих установок (КРУ), які під'єднуються до реакторів, а зв'язок із всією енергосистемою - по лініях високої напруги 220 кВ [5, 6].

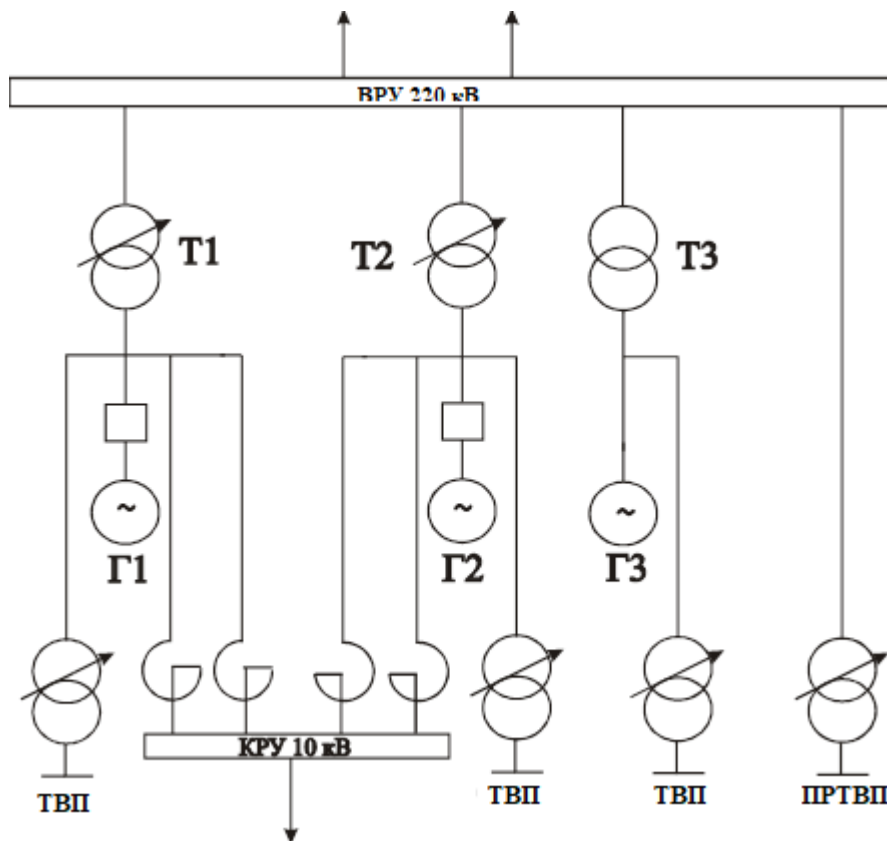


Рисунок 1.1 – Структурна схема проєктованої електростанції

Для вибору схеми РУ, визначається кількість приєднань у кожній з них, яку розраховують як суму кількості трансформаторів зв'язку ($n_{т.зв}$) або

живильних трансформаторів (n_m) та кількості ліній, що відходять до споживачів ($n_{лен}$), кількості ліній зв'язку із системою ($n_{зв}$), під'єднаних до даної РУ [5, 6].

$$n_n = n_{лен} + n_{зв} + n_{m.зв} + n_m. \quad (1.1)$$

Кількість ліній, що відходять, будемо розраховувати, виходячи із відстані передачі та економічно доцільних величин переданих потужностей згідно формули [5, 6]:

$$n_{лен} \geq \frac{P_{макс}}{P_l}. \quad (1.2)$$

Відповідно до (1.1) розрахуємо необхідну кількість приєднань до РУ 220 кВ:

$$n_n = 2 + 2 + 2 = 6.$$

Згідно із розрахунком схему для РУ 220 кВ приймаємо з двома робочими і третьою обхідною системами шин [5, 6].

Кількість необхідних приєднань до РУ 10 кВ розрахуємо аналогічно. Напругу власних потреб для ТЕЦ приймаємо на рівні 6 кВ при напрузі генераторів - 10 кВ. Живлення СН буде виконуватись через трансформатори власних потреб (ТВП).

Робочі ТВП для ТЕЦ приєднуються підєднанням від блока між генераторним вимикачем та трансформатором. Потужність робочих ТВП вибираємо, базуючись на відсотку витрат на власні потреби від потужності генераторів (8%).

Кількість секцій на стороні 6 кВ для блокового виконання ТЕЦ

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

приймаємо дві на кожен блок. Кожна секція приєднується до робочого ТВП. Трансформатори ТВП1, ТВП2, ТВП3 будуть живити секції на стороні 6 кВ відповідно для першого блоку 1А, 1Б, другого блоку - 2А, 2Б, третього блоку - 3А, 3Б. До цих секцій приєднуються електродвигуни 6 кВ відділень - котельного та турбінного, загальностанційне навантаження та відповідно трансформатори 6/0,4 кВ.

Резервне живлення секцій ВП буде виконуватись від резервної магістралі, пов'язаної з резервним трансформатором ВП (ПРТВП). Резервну магістраль для підвищення гнучкості та надійності будемо ділити на секції вимикачами через два блоки.

На проєктованій ТЕЦ із числом робочих ТВП 3 приймаємо один ПР ТВП [3, 5, 6]. Потужність резервного ТВП повинна забезпечити заміну робочого трансформатора одного блока й одночасний пуск або аварійну зупинку другого блока. Відповідно потужність резервного ТВП приймаємо приблизно в 1,5 рази вищою за потужність найбільшого робочого ТВП [1, 5, 6]. Резервний ТВП під'єднаємо до збірних шин підвищеної напруги (220 кВ), які мають зв'язок з енергосистемою лініями ВН (на випадок аварійного відключення всіх генераторів станції) (див. рис. 1.1).

Споживачі ВП напругою рівня 0,4 кВ та частина загальностанційного навантаження живляться від секцій 0,4 кВ, які, відповідно отримують живлення від трансформаторів 6/0,4 кВ. Найвідповідальніші споживачі повинні бути під'єднані на напівсекції 0,4 кВ, через автомати, окремо від решти цих же секцій. Витрату на власні потреби 0,4 кВ приймаємо на рівні 15% від загальної витрати [5, 6].

Трансформатори 6/0,4 кВ встановлюємо за можливістю в центрах електричних навантажень у турбінному та котельному відділенні, на ВРУ, в об'єднаному допоміжному корпусі, у компресорній тощо.

Резервування РУ ВП 0,4 кВ на проєктованій ТЕЦ виконується від

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

трансформаторів 6/0,4 кВ, кількість та потужність яких розраховується за таким самим принципом, як і резервування РУ ВП 6 кВ. При цьому робочий трансформатор та трансформатор резерву, повинні бути приєднані до різних секцій ВП 6 кВ [5, 6].

Для підтримання необхідного рівня напруги на шинах власних потреб ТВП та ПР ТВП мають регулювання під навантаженням (РПН).

Для обмеження струмів КЗ зазвичай використовується роздільна робота секцій 6 кВ. Для обмеження струмів КЗ на стороні 0,4 кВ на вводах до збірок будемо монтувати реактори [5, 6].

Таблиця 1.1 – Короткі технічні характеристики обладнання

Напруга в лінії в кВ	Довжина лінії передачі, км	Найбільша потужність на один ланцюг, МВт
6...10	10...15	3...5

1.2 Вибір електрообладнання для головної схеми та схеми власних потреб

Відповідно до матеріалів типових проектів спроектовано та запропоновано головну схему та схему власних потреб.

Використаємо три однотипні генератори типу ТФВ-120-2УЗ [5, 6]. Трансформатори, що будуть працювати у блоці з генератором, вибираємо відносно потужності останніх. Потужність ТВП вибираємо згідно із відсотком витрат на власні потреби від потужності генераторів всієї ТЕЦ. Потужність ПР ТВП визначаємо виходячи з умови заміни одного з найбільших робочих ТВП та одночасного забезпечення запуску блоку. Дана потужність приблизно в 1,5 рази вища за потужність робочого ТВП [5, 6].

Робочі ТВП для блоків під'єднуються до відпайок від струмопроводів генераторної напруги. ПР ТВП приєднаний до РУ вищої напруги. Усі ТВП, а також підвищувальні трансформатори Т1 та Т2 мають РПН для підтримання необхідного рівня напруги на збірних шинах.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 1.2 наведено параметри обраного основного електрообладнання для проєктованої ТЕЦ [1, 5, 6].

Таблиця 1.2 – Параметри основного електрообладнання для ТЕЦ [1, 5, 6]

Назва та тип обладнання	S , МВА	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А	X_d	$U_{ном}$, кВ	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	U_k , %	I_x , %
Генератори Г1, Г2, Г3: ТВФ-120-2УЗ	125 150	0,8	6,87 8,24	0,19 2	10,5	-	-	-	-
Блочні трансформатори Т1, Т2, Т3: ТДЦН-160000/220	160	-	-	-	-	242	10,5	11	0,5 5
Робочі трансформатори власних потреб (ТВП)	10	-	-	-	-	10,5	6,3	8	0,7 5
Пуско-резервні трансформатори власних потреб (ПР ТВП)	16	-	-	-	-	230	6,3	10,5	0,7

Таблиця 1.3 – Типи провідників для проєктованої ТЕЦ [1, 5, 6]

Ділянка схеми	Тип провідника	Параметри провідників
Від генератору до підвищувального трансформатору та відгалуження до ТВП	Пофазноекранований струмопровід типу ГРТЕ-8550-250	$U_{ном.ген} = 10$ кВ; $U_{ном.тр} = 10$ кВ; $I_{ном.ген} = 6875$ кА; $I_{ном.тр} = 8550$ кА; $I_{дин.с} = 250$ кА тип опорного ізолятора – ОФР-20.
Збірні шини 220 кВ та ошиновка до виводів підвищувальних трансформаторів та до ПР ТВП	Кабель марки АС-400/22	$D_{зовн} = 22,6$ мм; $I_{дон} = 835$ А; $q = 400$ мм ²
Відгалуження від блоку генератор-трансформатор до реакторів	Гнучкий струмопровід: два несучих кабелі марки АС-500/64, п'ять кабелів марки А-500	АС-500/64: $D_{зовн} = 20,6$ мм; $I_{дон} = 815$ А; $q = 500$ мм ² АС-500: $D_{зовн} = 29,1$ мм; $I_{дон} = 820$ А; $q = 500$ мм ²
Від ТВП та ПР ТВП до збірних шин 6,3 кВ	Комплектний струмопровід типу: ТЗК-6-1600-51	$U_{ном.тр} = 6$ кВ; $I_{ном.тр} = 1600$ кА; $I_{дин.с} = 51$ кА

Таблиця 1.5 – Типи вимикачів та їх характеристики [1, 5, 6]

Ділянка схеми	Тип вимикача	Технічні характеристики
ВРУ 220 кВ	У-220Б-1000-25У1	$U_{ном} = 220$ кВ; $U_{max} = 252$ кВ; $I_{ном.1} = 1000$ А; $I_{номвідкл} = 25$ кА; $i_{пр.с} = 64$ кА; $I_{пр.с} = 25$ кА.
Ланцюг генераторів ТГ-1, ТГ-2	МГ-20-90/9500У3	$U_{ном} = 20$ кВ; $U_{max} = 24$ кВ; $I_{ном.1} = 9500$ А; $I_{номвідкл} = 90$ кА; $i_{пр.с} = 300$ кА; $I_{пр.с} = 105$ кА.
Комірки введів ТВП 1 – ТВП 3	ВМПЕ-10-1000-20У3	$U_{ном} = 10$ кВ; $U_{max} = 12$ кВ; $I_{ном.1} = 1000$ А; $I_{номвідкл} = 20$ кА; $i_{пр.с} = 52$ кА; $I_{пр.с} = 20$ кА.
Комірки вводу резервного ТВП	ВМПЕ-10-1600-31,5У3	$U_{ном} = 10$ кВ; $U_{max} = 12$ кВ; $I_{ном.1} = 1600$ А; $I_{номвідкл} = 31,5$ кА; $i_{пр.с} = 80$ кА; $I_{пр.с} = 31,5$ кА.
Комірки вихідних ліній 10 кВ	ВМПЕ-10-630-20У3	$U_{ном} = 10$ кВ; $U_{max} = 12$ кВ; $I_{ном.1} = 630$ А; $I_{номвідкл} = 20$ кА; $i_{пр.с} = 52$ кА; $I_{пр.с} = 20$ кА.

У котельному відділенні ТЕЦ на газо-мазуті відповідальним обладнанням є димососи та вентилятори. До відповідальних механізмів машинного відділення ТЕЦ належать масло-насоси турбін та генераторів, живильні, конденсатні та циркуляційні насоси, масло-насоси системи ущільнення валу генераторів та підймальні насоси газоохолоджувачів генераторів. Усі інші механізми будуть віднесені до невідповідальних.

Переважає більшість механізмів ВП ТЕЦ приводиться в обертання саме електричним приводом. В якості електроприводів механізмів ВП найчастіше використовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (АД КЗР). Дані електродвигуни прості в конструкції, надійні в експлуатації, мають порівняно високий ккд, а пускові характеристики електродвигунів можуть бути узгоджені з характеристиками робочих машин.

Великою перевагою АД КЗР є можливість пуску від повної напруги мережі без використання спеціальних пускових пристроїв та здатність групи електродвигунів відновлювати нормальний режим роботи після глибоких

										Арк.
										14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 23.00.00.000 ПЗ					

знижень напруги живлення (тобто виконувати самозапуск).

Таблиця 1.6 - Назва механізмів ВП та їх характеристики [1, 5, 6]

Назва механізму	Тип електродвигуна	№ секції установки	Потужність, кВт	Струм, А	Кратність пускового струму, в.о.	Частота обертання, хв ⁻¹	ККД, %
Димосос	ДА302-17-44-10/12	3А, 3В	500/ 290	65,7/ 44,3	5,1/ 5,7	600/ 500	91,5/ 90
Вентилятор	ДВ-А302-16-64-10/12	3А, 3В	320/ 190	44,5/ 30,1	4,7/ 5,2	600/ 500	91/ 89,5
Пусковий масло-насос	ПМ-ВАО 2-450М-2	3А	250	28,3	6,5	3000	94,3
Живильний насос	ПЕН-4000/6000	3А, 3В	4000	444,5	5,7	3000	97,3
Насос для підкачування води з мережі	НСВ-4А3М-315/6000	3В	315	36,3	5,5	3000	95
Мережевий насос	СН-А30-4501-2	3В	400	44,8	7,5	3000	94,5
Циркуляційний насос	ЦЕН-4А3М-400/6000	3А, 3В	400	45,4	5,1	3000	95,3
Насос для перекачування хімічно обезсоленої води	НХОВ-4А3М-315/6000	3А	315	36,3	5,5	3000	95
Основний насос для мазуту	НМО-ВАО2-450ЛА-9	3В	200	22,9	5,5	750	95
Резервний збуджувач	РВ-ДА3-1810-6	3В	750	77,7	10	600	93,4
Насос для води	НПСВ-4А3М-315/6000	3А	315	36,3	5,5	3000	93,8
Насос для кислотного промивання	НКП-А30-4501В-2	3А	400	44,8	7,5	3000	95

Пусковий струм для кожної секції розраховується за наступною формулою:

$$I_{\text{ПУСК_СЕКЦ}} \sum = \sum_{i=1}^n I_{\text{НОМ_Д}_i} \cdot k_{\text{П}_i} \cdot \quad (1.3)$$

Відповідно до (1.3) для секцій А та В пускові струми дорівнюють:

$$I_{\text{ПУСК_СЕКЦ}} \sum_A = 4714,31 \text{ А};$$

$$I_{ПВСК_СЕКЦ} \sum_B = 4974,64 \text{ А.}$$

1.3 Вибір пристроїв РЗА для основних елементів ТЕЦ

1.3.1 Підбір релейних захистів генераторів [7-14]

Генератори, на сучасному етапі розвитку промисловості, є достатньо складними та дороговартісними машинами. Тому до РЗА для генераторів висуваються підвищені вимоги за збільшення швидкодії, розрахункових видів пошкодження, зменшення або повного усунення мертвих зон.

До основних видів пошкодження генераторів відносять наступні:

- між фазні КЗ на статорній обмотці - найсуттєвіший вид ушкодження, оскільки супроводжується протіканням достатньо великих струмів і, як наслідок, значними ушкодженнями статорної обмотки та заліза;
- виникнення однофазного замикання на землю на статорній обмотці;
- виникнення виткових замикань на статорній обмотці;
- виникнення замикань між витками однієї фази на статорній обмотці;
- виникнення замикань на землю у двох точках роторного ланцюга;
- проходження в статорній обмотці струму, суттєво вищого за номінальний, обумовленого виникненням зовнішнього КЗ;
- проходження в статорній обмотці струму, що обумовлене симетричним перевантаженням.

Для захисту від виникнення багатofазних КЗ в статорній обмотці генератора монтується швидкодіючий подовжній диференціальний захист, що спрацьовує на відключення [7-14]. Мережі генераторної напруги підключені з ізольованою нейтраллю саме тому диференційний захист можливо монтувати на двох фазах. Проте в такому випадку не можливо забезпечити вимкнення генератора в разі виникнення подвійних замикань на землю (одне із замикань у мережі, інше може виникати на фазі генератора, що не оснащена

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Вибір РЗ для трансформаторів

Для силових трансформаторів, а також ТВП необхідно встановити РЗ від наступних видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи [7-14]:

- виникнення багатофазних замикань на виводах та обмотках;
- виникнення внутрішніх пошкоджень (наприклад, виникнення виткових замикань в обмотках або, так званої «пожежі сталі» магнітопроводу);
- виникнення однофазних замикань на землю;
- виникнення надлишкових струмів в обмотках, через перевантаження (якщо воно можливе);
- виникнення надлишкових струмів в обмотках, через появу зовнішнього КЗ;
- падіння рівня масла.

Під час виконання РЗ трансформатора необхідно також враховувати певні особливості нормальної роботи трансформатора, вплив коефіцієнта трансформації та схем з'єднання обмоток трансформатора, стрибки струму намагнічування під час вмикання трансформатора під напругу.

Для РЗ від виникнення багатофазних замикань на виводах та в обмотках блокових трансформаторів, а також ТВП необхідно врахувати подовжній диференціальний захист із циркулюючими струмами, що буде діяти на відключення вимикачів силового трансформатора без будь-якої витримки часу. Особливістю диференціального захисту трансформаторів, якщо виконувати порівняння із диференціальним захистом генераторів є невідповідність первинних струмів різних обмоток трансформатора та їх несиметричність у загальному випадку за фазою.

Для компенсації виникнення зсуву струмів за фазою вторинні обмотки ТС, підключених з боку «зірки» силового трансформатора, з'єднують у «трикутник», а вторинні обмотки ТС, підключені з боку «трикутника» силового трансформатора, навпаки з'єднують у «зірку». Компенсація нерівності первинних струмів повинна досягатись вірним підбором коефіцієнтів

трансформації ТС. Якщо не можливо виконати підбір коефіцієнту трансформації ТС так, щоб різниця вторинних струмів у плечах диференціального захисту була нижчою ніж 10% (тому що ТС завжди володіють стандартним значенням коефіцієнта трансформації), під час виконання РЗ для компенсації нерівності струмів будемо використовувати диференціальні реле типу ДЗТ-21 [7-14].

На робочих ТВП та ПР ТВП електростанції необхідно використовувати поздовжній диференційний захист. Найпростішою схемою виконання поздовжнього диференціального захисту є диференціальне струмове відсікання, яке можливо застосувати у тому випадку, коли воно відповідає вимогам чутливості. Якщо дана умова не може виконуватись, у поздовжньому диференціальному захисті будемо застосовувати реле типу ДЗТ-21.

На трансформаторах із можливістю регулювання напруги під навантаженням необхідно передбачити диференціальний захист із гальмуванням та встановленням реле типу ДЗТ або аналогічне [7-14]. Попередньо РЗ буде розраховуватись для випадку використання реле без гальмування. Якщо такий захист буде недостатньо чутливим, будемо використовувати реле із мінімальним числом гальмівних обмоток, для забезпечення необхідної чутливості.

Для захисту від внутрішніх пошкоджень (виникнення виткових замикань в обмотках, що можуть супроводжуватись виділенням газу) та від різкого падіння рівня масла на всіх трансформаторах ТЕЦ буде використовуватись газовий захист з дією на сигнал при слабкому газоутворенні та на повне вимкнення в разі інтенсивного утворення газу.

Газовий захист необхідно встановлювати на трансформаторах із масляним охолодженням, що мають додаткові розширювачі, і виконують за допомогою використання поплавкових, чашкових та лопатевих газових реле. Газовий захист є єдиним захистом трансформаторів від, так званої, «пожежі сталі» магнітопроводу, що може виникати при певному порушенні ізоляції між листами сталі [7-14].

У зв'язку із широким використанням трансформаторів 6/0,4 кВ зі схемою

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

з'єднання обмоток «трикутник – зірка», що оснащені глухо-заземленою нейтраллю на стороні 0,4 кВ, будемо використовувати максимальний струмовий захист, установлений на стороні високої напруги [1, 7-14].

Для захисту блокових трансформаторів від виникнення зовнішніх КЗ, будемо використовувати струмовий захист нульової послідовності [7-14].

1.3.3 Підбір РЗ для шин

КЗ на шинах ТЕЦ можуть виникати через забруднення або втулок вимикачів, ушкодження шинних ізоляторів або вимірювальних ТС, а також у разі помилкових дій персоналу з шинними роз'єднувачами [7-14]. Виникнення пошкодження на шинах мають досить низький шанс появи. Однак, з огляду на суттєво тяжкі наслідки, до яких дані види ушкодження можуть призвести, необхідно мати РЗ, що буде працювати в випадку виникнення ушкодження на шинах. В якості захисту шин будемо використовувати диференціальний струмовий захист.

Для виконання диференційного захисту будемо застосовувати ТС, в яких однаковий коефіцієнт трансформації незалежно від потужності приєднання.

Диференціальний струмовий захист шин напругою 220 кВ електричної станції буде охоплювати всі елементи, які приєднані до системи. При цьому кількість ТС буде значною та ймовірність обриву вторинних кіл теж збільшиться. Це повинне бути враховано під час вибору струму спрацьовування РЗ. У разі появи обриву на шинах захист автоматично з певною витримкою часу вимикає лінію. Для цього у зворотний дріт диференціального ланцюга вмонтовується реле струму, що буде спрацьовувати в випадку обриву вторинних ланцюгів на будь-якому ТС [7-15]. Як і будь-який диференційний захист, диференційний захист шин не повинен спрацьовувати при виникненні зовнішніх КЗ. Для збільшення чутливості захисту будемо застосовувати реле типу РНТ. Чутливість захисту рахується достатньою, якщо при виникненні КЗ на шинах $k_q \geq 2$ [7-14].

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Диференціальний струмовий захист шин напругою 6-10 кВ повинен виконуватись за спрощеною схемою. У ланцюги струму даного захисту не вмикаються ТС споживачів електричної енергії. Такий захист носить назву неповного диференціального струмового [7-14].

РЗ повинен виконуватись двоступеневим, складатися з першого та третього ступенів. Перший ступінь, або струмове відсічення без витримки часу, є основним захистом. Третій ступінь, або максимальний струмовий захист, резервує перший ступінь та захисти ліній, що відходять, але не охоплені диференціальним захистом.

1.3.4 Вибір РЗ для електродвигунів

Диференційний захист у трифазному виконанні зазвичай застосовується для захисту від виникнення міжфазних КЗ електродвигунів потужністю понад 4000 кВт. Диференційний захист будемо виконувати з використанням трьох реле з гальмуванням типу ДЗТ-11.

Струмове відсікання використовується на електродвигунах потужністю нижче 4000 кВт від тих самих ушкоджень, що й диференціальний захист.

Струмовий захист нульової послідовності призначений для захисту електродвигунів від виникнення замикань на землю, виконаний на реле типу РТЗ-51.

Захист від виникнення подвійних замикань на землю виконується за допомогою використання реле струму типу РТ-40. Захист мінімальної напруги використовується для спрощення умов самозапуску електродвигунів на відповідальних механізмах. Струмовий захист від перевантаження використовується тільки на електродвигунах, що схильні до перевантажень [7-14].

1.3.5 Автоматичне повторне увімкнення (АПВ)

Пристрій АПВ зазвичай використовуються для швидкого відновлення

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

живлення споживачів та внутрішньо-системних зв'язків шляхом автоматичного ввімкнення вимикачів, що було вимкнені пристроями РЗ.

В проєкті РЗА для ТЕЦ використаємо наступні види АПВ:

- пристрій АПВ на кабельних лініях 10 кВ живлення споживачів;
- пристрій АПВ повітряних ліній електропередач 220 кВ;
- пристрій АПВ на шинах підключення ТЕЦ;
- пристрій АПВ секційного та обхідного вимикачів;
- пристрій АПВ відповідальних електродвигунів, відключених для самозапуску інших електродвигунів.

Пристрої АПВ виконані так, чином щоб вони не спрацьовували під час автоматичного вимкнення РЗ безпосередньо після увімкнення технічним персоналом дистанційно або за допомогою телекерування; вимкнення вимикача технічним персоналом дистанційно або за допомогою телекерування; вимкнення вимикача захистом від внутрішніх ушкоджень трансформаторів та машин, що обертаються, а також в інших випадках вимкнень вимикача, коли дія АПВ є неприпустимою.

Дія пристроїв АПВ повинна бути зафіксована спеціальним реле, вбудованими в реле показчиками спрацьовування, або лічильниками числа спрацьовування [7-14].

1.3.6 Увімкнення генераторів

Увімкнення генераторів на паралельну роботу виконується одним із наступних способів: точною синхронізацією т самосинхронізацією.

Для проєктованої схеми ТЕЦ для турбогенераторів ТВФ-120 буде використовуватись спосіб точної автоматичної синхронізації за нормальних режимів. За аварійних режимів може використовуватись спосіб самосинхронізації.

Усі генератори оснащено спеціальними пристроями, що дозволяють за необхідності виконувати ручну більш точну синхронізацію з блокуванням від

									Арк.
									22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 23.00.00.000 ПЗ				

несинхронного ввімкнення [7-14].

1.3.7 Автоматичне регулювання збудження (АРЗ), напруги (АРН) та реактивної потужності (АРРП)

Пристрої АРЗ, АРН та АРРП використовуються для підвищення статичної та динамічної стійкості енергосистем; підтримання напруги в енергосистемі за вказаними технічними характеристиками під час нормальної роботи; розподілу реактивного навантаження між джерелами реактивної потужності за вказаним законом.

Генератори обладнано пристроями АРЗ, що відповідають вимогам державних стандартів для систем збудження та технічних умов на обладнання систем збудження.

Для генераторів типу ТВФ-120 має бути встановлена швидкодіюча система збудження з АРЗ сильної дії.

Трансформатори з РРП оснащені САР коефіцієнта трансформації для підтримання або вказаної зміни рівня напруги [7-14].

1.3.8 Автоматичне регулювання частоти та активної потужності (АРЧМ)

Системи АРЧМ зазвичай застосовуються для підтримання частоти в енергосистемі в нормальних режимах згідно із вимогами державних стандартів на регулювання обмінних потужностей енергосистем; якість електричної енергії; розподіл потужності між об'єктами управління на всіх рівнях диспетчерського керування [7-14].

Системи АРЧМ використовуються на ТЕЦ для підтримання середнього відхилення частоти від вказаного значення в межах 0,1 Гц та обмеження перетікання потужності контрольованими зв'язками з погашенням не нижче ніж 70 % амплітуди коливань перетікання потужності з періодом більше як 2 хв.

Керування потужністю ТЕЦ виконується зі частковою статикою за частотою, яка змінюється у межах від 3 до 6 %.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.3.9 Автоматичне зупинка асинхронного режиму

Для зупинки асинхронного режиму в разі його виникнення будуть застосовуватись пристрої автоматики, що можуть відрізнити асинхронний режим від нормального, КЗ або синхронного режимів роботи.

Вказані пристрої спроектовано таким чином, щоб їх застосування насамперед сприяло здійсненню заходів, спрямованих на полегшення виникаючої ресинхронізації [7-14]:

- частковому відключенню споживачів;
- швидкому набору навантаження турбінами;
- зменшенню потужностей генерації (якщо виник надлишок потужності).

1.3.10 Автоматичне обмеження зниження частоти (АОЗЧ)

АОЗЧ виконано з таким розрахунком, щоб за будь-якого можливого дефіциту потужності в енергосистемі існувала можливість зниження частоти нижче за рівень 45 Гц виключена абсолютно, час роботи з частотою нижчою за рівень 47 Гц не довше ніж 20 с, а з частотою не нижче ніж 48,5 Гц - не довше як 60 с.

САОЗЧ виконує наступні дії:

- додаткове розвантаження;
- автоматичний ввід резерву (за частотою);
- автоматичне частотне розвантаження (АЧР);
- увімкнення живлення відключених споживачів у разі відновлення частоти (ЧАПВ).

Дія АЧР повинна бути повністю узгоджена з дією пристроїв АПВ [7-14].

1.3.11 Оперативні струми

Оперативний струм використовується для живлення вторинних пристроїв, до яких відносять аварійну та попереджувальну сигналізацію, апаратури дистанційного керування, оперативні ланцюги захисту, автоматики та

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

телемеханіки та ін. У разі порушень нормальної роботи електростанції оперативний струм у деяких випадках може застосовуватись для роботи аварійного освітлення та для живлення відповідальних механізмів власних потреб.

Загально відомо, що від джерел оперативного струму завжди вимагається підвищена надійність, тому потужність джерел повинна бути цілком достатньою для надійної дії вторинних пристроїв навіть за найважчих аварій, а напруга повинна вирізнятися досить високою стабільністю. Дані ж вимоги до високої надійності в свою чергу призводять до потреби підвищеного резервування джерел оперативного струму та відповідних розподільчих мереж.

В якості найнадійнішого джерела живлення для оперативних кіл завжди рахувались акумуляторні батареї. Великою перевагою таких батарей є незалежність (або повна автономність) від навколишніх умов, що дозволяє забезпечувати роботу вторинних пристроїв навіть в випадку повної відсутності напруги в основній мережі електростанції.

Іншою важливою перевагою даного джерела електроенергії є можливість легко витримувати значні, але короткочасні перевантаження, потреба в яких може виникати під час накладення на нормальний режим роботи акумулятора поштовхових струмів при увімкненні приводів вимикачів.

Джерела постійного оперативного струму володіють досить високою надійністю, проте великим недоліком є суттєва вартість як акумуляторних батарей, так і самої мережі оперативного струму, що в разі централізованого розподілу неминуче буде дуже складною та матиме сильне розгалуження.

В якості джерел змінного оперативного струму використовують ТВП та вимірювальні ТС та ТН, які виконують живлення вторинних пристроїв або безпосередньо або через допоміжні ланки - блоки живлення, конденсаторні пристрої чи спеціальні випрямні агрегати [7-14].

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

Відповідно до матеріалів типових проєктів та державних стандартів було розроблено та запропоновано ГСЕЗ та схему власних потреб, та підібрано для цих схем основне обладнання.

Для забезпечення безперебійної роботи всієї електроенергетичної системи, було виконано підбір пристроїв РЗА для трансформаторів, генераторів, шин та електродвигунів, а також пристроїв автоматичного регулювання збудження (АРЗ), автоматичного повторного вмикання (АПВ), автоматичного регулювання напруги (АРН) тощо.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

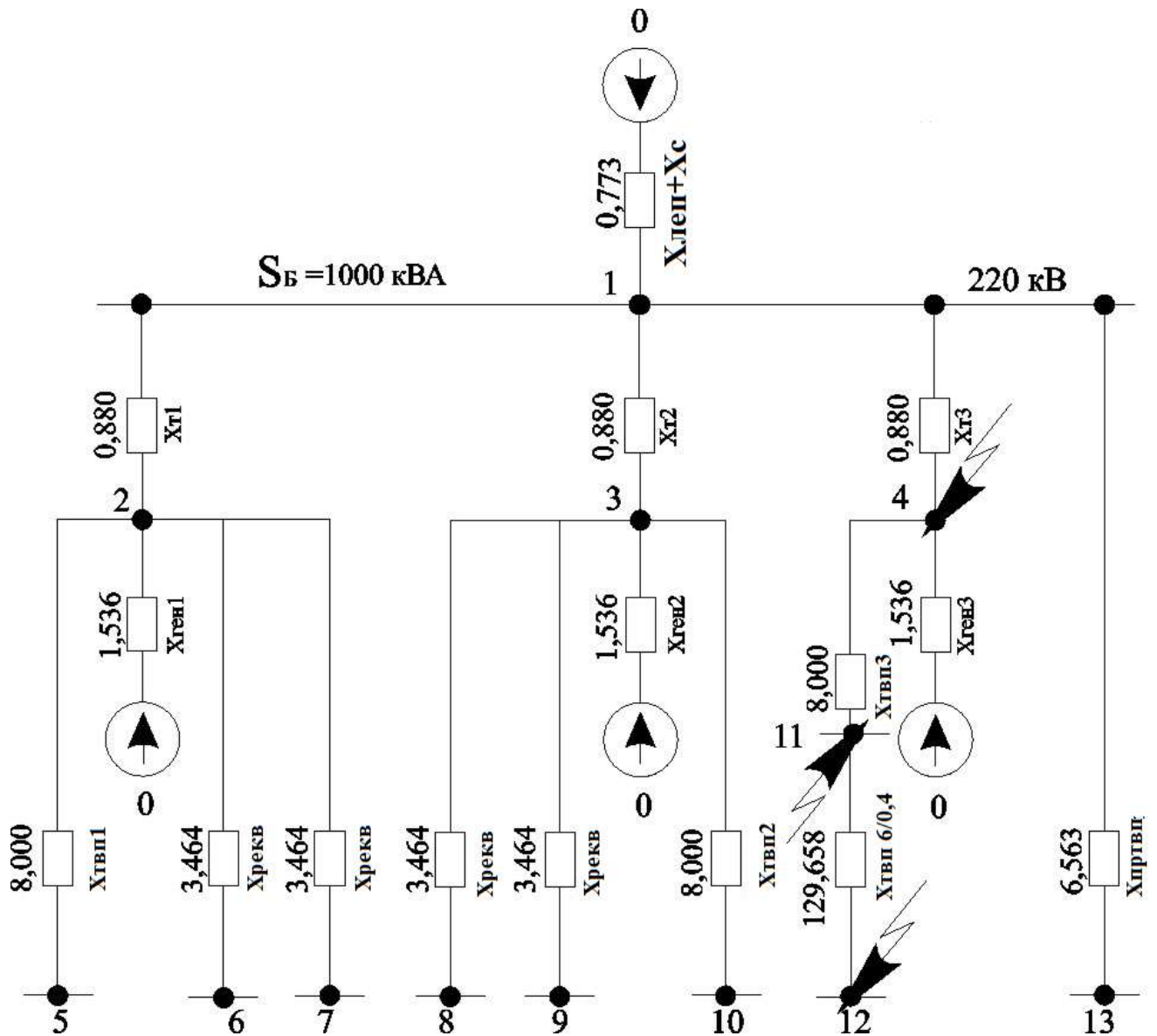


Рисунок 2.2 – Еквівалентна схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Таблиця 2.1 – Вирази для визначення опорів та їх значення

Елементи установки	Вихідні параметри	Вирази для визначення опору в відносних одиницях (в.о.).	Значення опору
Генератори Г1, Г2, Г3	$X_{дном}''$ $S_{ном}$	$X^* = X_{дном}'' \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{ном}}$	$X^* = 0,192 \cdot \frac{1000}{150} = 1,28$
Трансформатори Т1, Т2, Т3	$U_k, \%$ $S_{ном}$	$X^* = \left(\frac{U_k}{100} \right) \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{S_{ном}} \right)$	$X^* = \left(\frac{11}{100} \right) \cdot \left(\frac{1000}{160} \right) = 0,688$
Трансформатори власних потреб ТВП1, ТВП2, ТВП3	$U_k, \%$ $S_{ном}$	$X^* = \left(\frac{U_k}{100} \right) \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{S_{ном}} \right)$	$X^* = \left(\frac{8}{100} \right) \cdot \left(\frac{1000}{10} \right) = 8,0$

Закінчення таблиці 2.1			
Пускорезервний ТВП	$\frac{U_k, \%}{S_{ном}}$	$X^* = \left(\frac{U_k}{100}\right) \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{S_{ном}}\right)$	$X^* = \left(\frac{10,5}{100}\right) \cdot \left(\frac{1000}{160}\right) = 6,56$
Енергосистема	$\frac{S_{ном}}{X_{с.ном}}$	$X^* = X_{с.ном} \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{S_{ном}}\right)$	$X^* = 0,4 \cdot \left(\frac{1000}{2000}\right) = 0,2$
Реактор	X_p	$X^* = X_p \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{U^2}\right)$	$X^* = 0,2 \cdot \left(\frac{1000}{10,5^2}\right) = 1,81$
Лінія електропередачі (ЛЕП)	$\frac{X_{y\delta}}{L}$	$X^* = X_{y\delta} \cdot L \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{U_{сер}^2}\right)$	$X^* = 0,4 \cdot 120 \cdot \left(\frac{1000}{230^2}\right) = 0,45$
Трансформатор ТВП 6/0,4кВ	$\frac{U_k, \%}{S_{ном}}$	$X^* = \left(\frac{U_k}{100}\right) \cdot \left(\frac{S_{\sigma}}{S_{ном}}\right)$	$X^* = \left(\frac{8}{100}\right) \cdot \left(\frac{1000}{0,63}\right) = 126,98$

Струм КЗ, що протікає гілкою, визначається за наступною формулою [1]:

$$I_K^{(3)} = I_{K-i}^{(3)} \cdot k_{струм_{m-n}}, \quad (2.1)$$

де $I_{K-i}^{(3)}$ - періодична складова надперехідного струму КЗ; $k_{струм_{m-n}}$ - коефіцієнт розподілу симетричних складових струму КЗ по гілках схеми, m, n - початок та кінець гілки.

2.2 Розрахунок та розробка схем РЗА блоку генератор-трансформатор

2.2.1 Основні захисти блоку генератор-трансформатор

Спочатку розглянемо поздовжній диференційний захист генератора. Захист буде виконуватись на реле ДЗТ-11/5 з відсотковим гальмуванням, що забезпечує спрацювання від максимального струму небалансу за струму спрацювання, який нижчий за номінальний струм генератора [7-14].

ТС (ТС_А) для захисту з боку лінійних виводів завжди будуть вмикатись на повний струм генератора, а з боку нейтралі - або на такий самий повний струм, або на його половину (у кожному з двох паралельних гілок статорної обмотки). Відповідно коефіцієнт трансформації ТС_А зі сторони нейтралі повинен бути або

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

аналогічним, як і з боку лінійних виводів, або в два рази нижчим по значенню. Усі ТСА для захисту повинні допускати довго тривалу роботу за струму навантаження генератора на рівні $I = 1,1 \cdot I_{НОМ}$ генератора та забезпечувати за виникнення зовнішніх КЗ (за трансформатором блока) повну похибку не вищу за 10%.

Сила струму спрацьовування захисту за відсутності гальмування розраховуємо згідно наступної формули [7-14]:

$$I_{спр\ min} = \frac{F_{спр}}{Wp}, \quad (2.2)$$

де $F_{спр}$ - МДС спрацьовування ($F_{спр} = 100$ А); Wp - число витків робочої обмотки ($Wp = 144$ витки).

Первинна сила струму спрацьовування для всіх типів генераторів складає $(0,1 \sim 0,2)I_{НОМ}$.

Тоді визначимо максимальний розрахунковий струм небалансу [7-14]:

$$I_{НБ,Розр} = k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)}, \quad (2.3)$$

де ε - повна похибка ($\varepsilon = 0,1$); $I^{(3)}$ - періодична складова струму трифазного КЗ або найбільше значення струму для асинхронного ходу; $k_{одн}$ - коефіцієнт однотипності ТСА (рівний 1 при різних ТСА або дорівнює 0,5 при однакових ТСА).

Визначимо необхідне кількість гальмівних витків за наступним виразом:

$$w_{Г,Розр} = \frac{k_H \cdot I_{НБ,Розр} \cdot w_{Роб}}{I_{Г} \cdot tg\alpha}, \quad (2.4)$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де k_H - коефіцієнт надійності, $k_H = 1,6$; I_{Γ} - гальмівний струм, $I_{\Gamma} = I^{(3)}$;
 $tg\alpha$ - тангенс кута нахилу дотичної до гальмівної характеристики відносно осі абсцис, $tg\alpha = 0,75$.

Приймається відгалуження гальмівної обмотки із найближчим більшим рівним числом витків.

Розрахуємо струм спрацьовування реле за наступною формулою:

$$I_{Cnp.P} = \frac{I_{C.3} \cdot k_{CX}}{k_{TCA}}. \quad (2.5)$$

Виконувати перевірку чутливості захисту не потрібно, оскільки вона завжди вища за необхідну згідно з ПУЕ [16].

Вибираємо ТС на виводах та на нейтралі генератора відповідно до тривало-допустимого струму навантаження генератора:

$$I = 1,1 \cdot 8,249 = 9,07(\text{кА}),$$

згідно розрахунку обираємо ТШ20-10000/5-0,2/10РУЗ.

Розрахуємо необхідний струм спрацьовування захисту за відсутності гальмування відповідно до (2.2) [7-14]:

$$I_{Cnp \min} = \frac{100}{144} = 0,69(\text{А}).$$

Відповідно визначимо первинний струм спрацьовування:

$$I_{Cnp,Пер} = (0,1 - 0,2) \cdot 8,248 = 0,83 \div 1,65(\text{кА}),$$

отже, приймаємо $I_{Cnp,Пер} = 1,65$ кА.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Визначимо періодичну складову трифазного КЗ та найбільше значення струму для асинхронного ходу. За відсутності вимикача в ланцюзі генератора розрахункову точку КЗ будемо приймати на стороні ВН блочного трансформатора. Такий вибір дозволить підвищити чутливість захисту [7-14]. Розрахований струм будемо приводити до сторони встановлення захисту:

- розрахунковий струм виникаючого трифазного КЗ:

$$I_{КЗ_C}^{(3)} = 5,6 \cdot (1 - 0,078) \cdot \frac{242}{10,5} = 118,99 \text{ (кА)};$$

$$I_{КЗ_Г}^{(3)} = 5,6 \cdot 0,078 \cdot \frac{242}{10,5} = 10,1 \text{ (кА)}.$$

- визначимо струм асинхронного режиму при збільшенні кута між ЕРС до 180° в генераторі:

$$I = \frac{E_q'' + U_C}{x_d'' + x_T + x_C} = \frac{1,13 + 220}{0,192 + 0,88 + 0,448} = 145,48 \text{ (кА)}.$$

- визначимо струм при асинхронному ході та втраті збудження:

$$I_{a,x} = \frac{U_C}{x_d' + x_T + x_C} = \frac{220}{0,278 + 0,88 + 0,448} = 136,99 \text{ (кА)}.$$

Із розрахованих струмів приймаємо більше значення для подальших розрахунків [7-14].

Розрахуємо максимальне значення первинного струму небалансу згідно із (2.3):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{НБ,Розр} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 145,48 = 7,27(\text{кА}).$$

Визначаємо необхідне число витків гальмівної обмотки згідно із (2.4):

$$w_{Г,Розр} = \frac{1,6 \cdot 7,27 \cdot 144}{118,99 \cdot 0,75} = 18,77(\text{вит}).$$

отже, приймаємо найближче більше значення $w_{Г,Розр} = 19$ вит .

Визначаємо струм спрацьовування реле згідно із формулою (2.5):

$$I_{СПР.Р} = \frac{1380 \cdot 1}{10000 / 5} = 0,69(\text{А}).$$

Поперечний диференціальний захист генератора. Захист буде виконуватись односистемним на реле типу РТ-40/Ф із вбудованим фільтром вищих гармонік. Це реле приєднується до ТСА з коефіцієнтом трансформації від 1500/5 до 2500/5, вмонтованому в перемичку між нейтралями паралельних статорних обмоток [7-14].

Первинний струм спрацьовування під час проектування приймається рівним первинному струму генератора. Під час налаштування струм спрацьовування буде уточнюватись за результатами вимірювань струму небалансу та суттєво понижуватись.

Струм спрацьовування реле розрахуємо за наступним виразом:

$$I_{С.Р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{СХ}}{k_{ТСА}}. \quad (2.6)$$

Приймаємо ТС для генератора типу ТВФ-120-2У3 ТШЛО10-1500/5-0,5/10РУЗ [7-14].

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Тоді струм спрацьовування захисту буде дорівнювати:

$$I_{C.3} = 0,2 \cdot 8,248 = 1,65(\text{кА}).$$

Розрахуємо струм спрацьовування реле згідно із виразом (2.6):

$$I_{C.P.} = \frac{1380 \cdot 1}{1500 / 5} = 4,58(\text{А}).$$

Захист від виникнення замикань на землю в статорній обмотці. На генераторі енергоблока в якості захисту від виникнення замикань на землю будемо використовувати захист ЗЗГ-12, виконаний на блок-реле типу БРЕ1301. Блок-реле типу БРЕ1301 складається з органів напруги першої та третьої гармонік та виконує охопту всієї статорної обмотки без появ зони нечутливості [7-14]. Орган першої гармоніки носить назву «реле напруги» та реагує на напругу нульової послідовності першої гармоніки; його уставки можуть регулюватися в діапазоні 5-20 В. У реле типу БРЕ1301 передбачено блокування даного органу в разі виникнення однофазних КЗ на стороні ВН блока за допомогою використання реле напруги зворотної послідовності.

У захисті ЗЗГ-12 орган третьої гармоніки повинен реагувати на похідну за часом у разі швидкого зростання напруги третьої гармоніки на виводах генератора (з постійною часу $T < 0,3$ с) і носить назву «реле похідної». Уставки на «реле похідної» не підлягають регулюванню.

До органів захисту подається напруга нульової послідовності від ТН відповідно через фільтри першої та третьої гармонік. У захисті ЗЗГ-12 «реле напруги» та «реле похідної» підключаються до ТН на виводах генератора.

Уставка органу захисту першої гармоніки за умовою відбудови від нетривалих знижень рівня ізоляції в процесі використання обладнання повинна бути не нижче 10 В (рекомендується 10-15 В) [7-14].

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для відбудови від можливих короточасних спрацьовувань захисту в перехідних режимах на його виході має бути встановлена витримка часу не менше 0,5 с.

Поздовжній диференційний струмовий захист блока трансформатора. Захист від виникнення усіх видів КЗ на обмотках та виводах, включно з виникненням виткових замикань в обмотках називають поздовжнім диференційним струмовим захистом. У захисті використовуються реле типу ДЗТ-21. Дане реле ДЗТ-21 дозволяє виконувати гальмування від двох груп ТСА. Для вирівнювання вторинних струмів у плечах захисту можливе застосування спеціальних автотрансформаторів струму (АТТ) [7-14].

ТСА, що використовуються в захисті повинні відповідати кривим граничної кратності при протіканні через них струму зовнішнього КЗ. Вторинні обмотки ТСА повинні бути з'єднані в «трикутник» на стороні ВН та «зіркою» на стороні НН. Коефіцієнти трансформації ТСА вибирають, виходячи з номінального первинного струму, що дорівнює прохідній потужності трансформатора, якщо ТСА на цьому боці з'єднуються в «зірку», або в випадку з'єднання в «трикутник».

Розрахунок захисту виконується в наступній послідовності [7-14].

Спочатку розраховують первинні струми на всіх сторонах трансформатора, що дорівнюють його прохідній потужності:

$$I_{НОМ} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{НОМ}}, \quad (2.7)$$

де $U_{НОМ}$ - номінальна міжфазна напруга.

Відповідно до рекомендацій щодо виконання захисту і виконується підбір коефіцієнтів трансформації ТСА на окремих сторонах.

Розраховуються вторинні струми в плечах захисту:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

$$I_{НОМ,В} = \frac{I_{НОМ} \cdot k_{СХ}}{k_{ТСА}}, \quad (2.8)$$

де $k_{СХ}$ - коефіцієнт схеми, що дорівнює одиниці при з'єднанні ТСА «зіркою» та дорівнює $\sqrt{3}$ при з'єднанні в «трикутник».

Обирається будь-яка зі сторін трансформатора, що приймається за основну в подальших розрахунках.

Наступним етапом визначають необхідність установки на основній стороні спеціальних вирівнювальних АТТ. Монтаж АТТ необхідний, якщо значення вторинного струму в плечі захисту на основній стороні нижче за 2,5 А або вище за 5 А. У першому випадку необхідно встановити підвищувальний АТТ типу АТ-31, у другому - понижувальний АТТ типу АТ-32.

Для основної сторони вибираються відгалуження транс-реактора реле типу ТАУ з номінальним струмом $I_{ВІД,НОМ,ОСН}$ такого рівня, щоб виконувалося наступне співвідношення:

$$I_{ВІД,НОМ,ОСН} \leq I_{ВІД,В,ОСН} \quad (2.8)$$

Номінальні струми для відгалужень від транс-реактора реле наведено в довідковій літературі [7-14].

Вибираються відгалуження транс-реактора для неосновних сторін з наступної умови:

$$I_{ВІД,НОМ,НЕОСН} \leq I_{ВІД,РАСЧ,НЕОСН} = I_{ВІД,НОМ,ОСН} \cdot \frac{I_{НОМ,В,НЕОСН}}{I_{НОМ,В,ОСН}} \quad (2.9)$$

Якщо значення номінального струму для обраного відгалуження транс-реактора буде відрізнатись від розрахункового значення струму в цілій частині або в першому знаку після коми, то на даній неосновній стороні доцільне

змонтувати вирівнювальні АТТ відповідного типу. У даному випадку номінальний струм відгалужень АТТ, що буде задовільнять вказаній вище умові, розраховується за наступним виразом:

$$I_{ВД,НОМ,ОСН} = k_{АТ} \cdot I_{ВД,НОМ} \quad (2.10)$$

Для вибору коефіцієнту $k_{АТ}$ попередньо порахуємо ряд його розрахункових значень [7-14]:

$$k_{АТ} = \frac{I_{НОМ,В,ОСН}}{I_{ВД,НОМ,К}} \quad (2.11)$$

де $I_{ВД,НОМ,К}$ - відповідно номінальний струм к-го відгалуження транс-реактора.

Наступний крок, визначити сторони, на яких буде використовується гальмування. Як правило, гальмування слід виконувати від ТСА всіх сторін, приймаючи при цьому значення уставки «початку гальмування» $I_{*ВД,ГАЛ,ПОЧ} = 1,0$. У разі використання одностороннього живлення АТ, що захищається, можливе гальмування тільки від ТСА на приймаючих сторонах, при цьому слід вибрати $I_{*ВД,ГАЛМ,ПОЧ} = 0,6$.

Далі обираємо відгалуження проміжних ТС для ланцюга гальмування та приставки додаткового гальмування (у разі використання) за наступної умови:

$$I_{ВД,ГАЛ,НОМ} \leq I_{ВД,ГАЛ,Розр} = \frac{I_{НОМ,В}}{k_{АТ}}, \quad (2.12)$$

де $k_{АТ}$ - коефіцієнт трансформації АТТ на стороні, де буде виконуватись гальмування (у випадку відсутності АТТ на даній стороні слід прийняти $k_{АТ} = 1$).

Номери відгалужень ТСА та необхідні номінальні струми наведено в довідниковій літературі [7-14].

Коли різниця між найближчим меншим номінальним струмом відгалуження та розрахунковим струмом вища, ніж між найближчим більшим номінальним струмом відгалуження та розрахунковим струмом, доцільно прийняти до використання останнє.

Далі, визначимо первинний струм, що відповідає початку гальмування:

$$I_{ГАЛ,ПОЧ,П} = k \cdot I_{НОМ} \cdot \frac{I_{ВІД,ГАЛ,НОМ}}{I_{ВІД,ГАЛ,Розр}} \quad (2.13)$$

де k - коефіцієнт, що необхідно прийняти на рівні $k = 0,5$ (або $1,2$) при $I_{*ВІД,ГАЛ,ПОЧ} = 1,0$ (або $0,6$).

Далі визначимо первинний струм небалансу в режимі, що повністю відповідає початку гальмування:

$$I_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} = \left(k_{ПЕР} \cdot k_{ОДН} \cdot \varepsilon + \left| \frac{I_{1,ВІД,Розр} - I_{1,ВІД,НОМ}}{I_{1,ВІД,Розр}} \right| \right) \cdot I_{ГАЛ,ПОЧ,П} \quad (2.14)$$

де $k_{ПЕР}$ - коефіцієнт, що враховує перехідний режим, $k_{ПЕР} = 1$; $k_{ОДН}$ - коефіцієнт однотипності ТСА, $k_{ОДН} = (0,5 \div 1,0)$; ε - відносне значення повної похибки ТСА, $\varepsilon = 0,05$; $I_{ГАЛ,ПОЧ,П}, I_{1,ВІД,Розр}, I_{1,ВІД,НОМ}$ - відповідно розрахункові та номінальні струми для прийнятого відгалуження транс-реактора з неосновного боку.

Далі розраховується струм спрацьовування захисту за двох умов [7-14]:

- в режимі, що відповідає початку гальмування для відбудови від первинного струму небалансу:

$$I_{C3} = k_{\text{Від}} \cdot I_{\text{ГАЛ,ПОЧ,П}} \quad (2.15)$$

де $k_{\text{Від}}$ - коефіцієнт відбудови;

- неспрацьовування захисту від перехідного струму небалансу виникнення зовнішнього КЗ:

$$I_{C,3} = 0,3 \cdot I_{\text{НОМ}} \quad (2.16)$$

В якості розрахункового значення треба приймати більше із двох отриманих значень.

Далі розраховується відносний мінімальний струм спрацьовування реле при відсутності гальмування [7-14]:

$$I_{*C,P,\min} = \frac{I_{C,3} \cdot k_{\text{СХ}}}{k_{\text{ТСА}} \cdot I_{\text{ВІД,НОМ}}} \quad (2.17)$$

Усі величини в даному виразі (2.17) приймаються для розрахункового боку, в якості якого вибирається неосновний бік, де номінальний струм прийнятого транс-реактору або відгалуження АТТ більше відрізняється від розрахункового струму відгалуження, якщо з цього боку можливе вмикання захисного АТ, під напругу.

Далі розраховується максимальний струм небалансу $I_{\text{НБ,Розр}}$ при виникненні зовнішнього КЗ між трьома фазами на ВН стороні. Вказаний струм знаходиться на основі формули (2.14) для $I_{\text{НБ,ГАЛ,ПОЧ}}$ із заміною в ній на максимальний виникаючий струм КЗ $I_{\text{К,МАХ}}$, а також приймаючи значення $k_{\text{ПЕР}} = 1,5 \div 2,0$ та $\varepsilon = 0,1$.

Розраховується коефіцієнт гальмування реле [7-14]:

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$k_T = \frac{k_{\text{Від}} \cdot I_{*НБ,Розр} \cdot \frac{I_{НОМ,В,ОСН}}{I_{ВІД,НОМ,ОСН}} - I_{*С,Р,мін}}{0,5 \sum I_{*ГАЛ,Розр} \frac{I_{ВІД,ГАЛ,Розр}}{I_{ВІД,ГАЛ,НОМ}} - I_{*ГАЛ,ПОЧ}}, \quad (2.18)$$

де $k_{\text{Від}}$ - коефіцієнт відбудови, $k_{\text{Від}} = 1,5$; $I_{*НБ,Розр}$ - відносне (відносно до сили струму $I_{НОМ}$) значення сили струму $I_{НБ,Розр}$; $0,5 \sum I_{*ГАЛ,Розр}$ - напівсума відносних (відносно до сили струму $I_{НОМ}$) первинних гальмівних струмів у разі виникнення зовнішнього КЗ на стороні ВН.

Приймається сила струму спрацьовування відсічення $6 \cdot I_{ВІД,НОМ}$, якщо відгалуження робочого ланцюга реле обрано рівними вторинним силам струму у відповідних плечах захисту, і на рівні $9 \cdot I_{ВІД,НОМ}$ в іншому випадку.

Чутливість захисту може не розраховуватись, оскільки вона завжди вища за необхідну відповідно до ПУЕ [16].

Розраховуємо первинні сили струму відповідно до (2.7):

$$I_{НОМ,1} = \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot 242} = 357(\text{А})$$

$$I_{НОМ,1} = \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 8248(\text{А})$$

Знайдемо відповідні коефіцієнти трансформації ТСА:

$$k_{ТСА,1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 357}{5} = \frac{618,34}{5};$$

$$k_{ТСА,2} = \frac{1 \cdot 8248}{5} = \frac{8248}{5},$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

отже, приймаємо до встановлення на стороні ВН ТСА із коефіцієнтом $k_{ТСА,1} = 600 / 5$, на стороні НН - $k_{ТСА,2} = 10000 / 5$.

Розрахуємо вторинні струми в плечах захисту згідно формули (2.18) [7-14]:

$$I_{НОМ,В,1} = \frac{357 \cdot \sqrt{3}}{600/5} = 5,15(\text{А});$$

$$I_{НОМ,В,2} = \frac{8248 \cdot 1}{10000/5} = 4,12(\text{А}).$$

Вибираємо відгалуження транс-реактора реле типу ТАВ згідно із формулами (2.9 – 2.10):

$$I_{ВД,НОМ,ОСН} = 5\text{А},$$

$$I_{ВД,Розр,НЕОСН} = 5 \cdot \frac{5,15}{4,12} = 6,25(\text{А}),$$

отже, приймаємо сили струму $I_{ВД,НОМ,НЕОСН} = 4,29\text{А}$.

Визначаємо ряд розрахункових значень для коефіцієнту трансформації:

$$k_{АТ,1} = \frac{6,25}{5} = 1,25;$$

$$k_{АТ,2} = \frac{6,25}{4,6} = 1,36;$$

$$k_{АТ,3} = \frac{6,25}{4,25} = 1,47;$$

$$k_{АТ,4} = \frac{6,25}{3,63} = 1,72;$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		41

$$k_{AT,5} = \frac{6,25}{3} = 2,08;$$

$$k_{AT,6} = \frac{6,25}{2,5} = 2,5.$$

Відповідно до довідкової літератури [7-14] приймаємо коефіцієнт трансформації k_{AT} рівним одному із розрахункових значень, якщо таке є в таблиці, або найближче менше розрахованого значення, що в свою чергу забезпечить мінімальне відносне відхилення значення обраного k_{AT} від розрахованого значення.

Отже, приймаємо $k_{AT} = 1,29$.

Виберемо відгалуження проміжного ТС ланцюга гальмування згідно із виразом (2.12):

$$I_{ВД,ГАЛ,Розр} = \frac{5,15}{1,29} = 3,99(\text{А}),$$

отже, приймаємо $I_{ВД,ГАЛ,НОМ} = 3,75(\text{А})$.

Розрахуємо первинну силу струму, що відповідає початку гальмування відповідно до (2.13):

$$I_{ГАЛ,ПОЧ,П} = 1,2 \cdot 357 \cdot 1 \cdot \frac{3,75}{3,99} = 402,6(\text{А}).$$

Відповідно, первинну силу струму небалансу, що відповідає початку гальмування, знаходимо за (2.14):

$$I_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} = \left(1 \cdot 1 \cdot 0,5 + \left| \frac{5-4,29}{5} \right| \right) \cdot 402,6 = 57,66(\text{А}).$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Далі, знайдемо силу струму спрацьовування захисту за (2.15-2.16):

$$I_{C3} = 1,5 \cdot 57,66 = 86,49(\text{A}) ;$$

$$I_{C,3} = 0,3 \cdot 357 = 107,1(\text{A}) ,$$

отже, приймаємо силу струму $I_{C3} = 107,1(\text{A})$.

Розрахуємо відносну мінімальну силу струму для спрацьовування реле за відсутності гальмування відповідно до формули (2.17):

$$I_{*C,P,\min} = \frac{107,1 \cdot \sqrt{3}}{(600/5) \cdot 5} = 0,309(\text{A}).$$

Розрахуємо максимальну розрахункову силу струму небалансу, при виникненні зовнішнього КЗ⁽³⁾:

$$I_{\text{НБ,ГЛЛ,ПОЧ}} = \left(1,5 \cdot 1 \cdot 0,1 + \left| \frac{5-4,29}{5} \right| \right) \cdot 67,2 = 9,69(\text{A}).$$

Знайдемо коефіцієнт гальмування за формулою (2.18) [7-14]:

$$k_{\Gamma} = \frac{1,5 \cdot \frac{9,69}{357} \cdot \frac{4,12}{5} - 0,309}{0,5 \cdot \frac{67,2}{357} \cdot \frac{3,99}{3,75} - 1} = 0,306.$$

При уставці відсічення, що дорівнює $6 \cdot I_{\text{ВД,НОМ}}$, сила струму спрацьовування відсічення буде дорівнювати:

$$I_{C,\text{Віос}} = 6 \cdot \frac{5,15 \cdot (600/5)}{\sqrt{3}} = 2140(\text{A}).$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

Чутливість захисту не буде визначатись, оскільки вона завжди вища за необхідну відповідно до ПУЕ [16].

Вибір захисту від замикань усередині бака трансформатора [7-14].

Проектується газовий захист із використанням одного газового реле, що буде контролювати виділення газу із бака в розширювач. Тому газовий захист бака трансформатора буде виконано двоступеневим, перша ступінь спрацьовує на сигнал, друга - на відключення. Захист же контакторного об'єму РПН буде виконано одним ступенем, що спрацьовуватиме лише на вимкнення.

2.2.2 Резервні захисти блоку генератор-трансформатор

Розрахунок дистанційного захисту. Даний тип захисту завжди виконується односистемним, одноступінчастим на одному з трьох реле опору в блок-реле типу БРЕ2801 (ще одне реле опору буде застосовуватись в якості захисту від втрати збудження).

На реле опору подається різниця струмів ТС, що розташовані на двох фазах лінійних (або нульових) виводів генератора, та міжфазна напруга від ТН з боку лінійних виводів генератора. На реле типу БРЕ2801 номінальна сила струму або 5 або 10 А.

Кут максимальної чутливості даного реле опору може бути рівним $\varphi_{ч \cdot \max} = 65 \div 80^\circ$.

Для дистанційного захисту будемо застосовувати кругову характеристику опору спрацьовування, яка знаходиться в I квадранті комплексної площини, та повинна охоплювати початок координат за рахунок свого зміщення в III квадрант [7-14].

Опір спрацьовування визначається за умовою відстройки від найбільшого реально можливого навантаження за наступною формулою:

$$Z_H = \frac{U_{\min}}{\sqrt{3} \cdot I_H}, \quad (2.19)$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де I_H - максимальне значення сили струму генератора під час короткочасного допустимого перевантаження (приймається на рівні $1,5 \cdot I_{НОМ}$);

U_{\min} - мінімальна напруга на виводах генератора, $U_{\min} = 0,95 \cdot U_{НОМ}$.

Розрахуємо кругову характеристику опору спрацьовування захисту:

$$Z_{C,3} = \frac{Z_H}{k_H \cdot k_{\Pi} \cdot \cos(\varphi_{\text{ч.макс}} - \varphi_H)}, \quad (2.20)$$

де φ_H - кут навантаження; k_H - коефіцієнт надійності, $k_H = 1,2$; k_{Π} - коефіцієнт повернення реле (не повинне перевищувати $k_{\Pi} = 1,07$).

Кут навантаження φ_H в умовах перевантаження можна розраховувати виходячи з номінального кута $\varphi_{НОМ}$ для даного типу генератора, встановленого заводом виробником, і незмінності активної потужності на валу генератора [7-14], використовуючи наступну формулу:

$$\cos \varphi_{НАВ} = \frac{\cos \varphi_{НОМ}}{I_{*H} \cdot U_{*MIN}}, \quad (2.21)$$

звідки:

$$\varphi_H = \arccos \varphi_{НАВ}. \quad (2.22)$$

Тоді знайдемо опір спрацьовування реле:

$$Z_{C,P} = \frac{k_{ТСА}}{k_{ТУ}} \cdot Z_{C,3}. \quad (2.23)$$

Виконаємо розрахунок необхідного дистанційного захисту:

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\cos \varphi_{HAB} = \frac{0,8}{1,5 \cdot 0,95} = 0,561;$$

$$\varphi_H = \arccos 0,561 = 56^\circ;$$

$$Z_H = \frac{10,5 \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot 8,248} = 0,466(\text{Ом});$$

$$Z_{C,3} = \frac{0,466}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \cos(80^\circ - 56^\circ)} = 0,405(\text{Ом});$$

$$Z_{C,P} = \frac{(10000/5) \cdot 0,405}{10000/100} = 8,1(\text{Ом}).$$

Вибір захисту від виникнення замикань на землю в роторній обмотці. Для сигналізації виникнення замикань на землю в роторній обмотці та в колах збудження встановлюють захист типу КЗР-3, який виконується накладанням на ланцюг збудження змінного струму частотою 25 Гц [7-14].

Розрахунок струмового захисту зворотної послідовності. Використовується фільтр-реле типу РТФ-6М [7-14] із інтегральною характеристикою витримки часу, що повністю відповідає прийнятому рівнянню теплової характеристики обраного генератора:

$$I_{*2}^2 \cdot t_{доп} = A, \quad (2.24)$$

де A - постійна, встановлена виробником; $t_{доп}$ - допустима тривалість струму в генераторі.

Фільтр-реле типу РТФ-6М містить фільтр струму зворотної послідовності (ФСЗП), два струмових органи без витримки часу (відсічення), орган з інтегральною залежною характеристикою витримки часу та сигнальний

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Одне з реле призначене для резервування захистів від виникнення КЗ на землю суміжних елементів мережі ВН. За допомогою другого, більш чутливого реле здійснюється розподіл шин ВН та прискорена ліквідація неповнофазних режимів.

Уставка менш точного реле (резервного захисту) вибирається за умовою узгодження з найбільш чутливими ступенями захисту від виникнення замикань на землю ліній, що відходять від блоку.

Уставка більш чутливого реле поділу шин вибирається за меншим із двох розрахованих значень:

- узгодження з уставкою менш точного реле згідно наступної формули:

$$I_{C,3} = \frac{I_{C,3-PEZ}}{1,05}; \quad (2.25)$$

- в режимі неповнофазного вимкнення блока при мінімальному навантаженні надійної дії згідно наступного виразу:

$$I_{C,3} \leq \frac{I_{\min}}{k_q} = \frac{0,4I_{НОМ}}{1,2}. \quad (2.26)$$

Розрахунок захисту від виникнення симетричного перевантаження. Захист виконується з реле типу РТВК з високим коефіцієнтом повернення, увімкненим в одну з фаз вторинного кола ТС. Номінальна сила струму для реле типу РТВК - 5 А.

Знайде первинну силу струму спрацьовування захисту [7-14]:

$$I_{C,3} = \frac{k_H}{k_{II}} \cdot I_{НОМ}, \quad (2.27)$$

де k_H - коефіцієнт надійності, приймається рівним $k_H = 1,05$; k_{II} - коефіцієнт повернення, $k_{II} = 0,9$; $I_{НОМ}$ - номінальна сила струму генератора.

Розраховуємо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{C,P} = \frac{k_{CX} \cdot I_{C,3}}{k_{TCA}}. \quad (2.28)$$

Виконаємо розрахунок захисту від виникнення симетричного перевантаження:

$$I_{C,3} = \frac{1,05}{0,9} \cdot 8248 = 9623(\text{А});$$

$$I_{C,P} = \frac{9623 \cdot 1}{10000 / 5} = 6,25(\text{А}).$$

Вибір захисту від перевантаження ротора. Для виконання захисту буде використовуватись пристрій типу РЗР-1М із двома ступенями дії, кожна з яких має власну інтегральну характеристику витримки часу. Перший ступінь буде використовуватись при двоступеневому роззбудженні генератора, а другий ступінь - на відключення генератора.

Вибір захисту від втрати збудження. Захист виконується на реле опору в блок-реле типу БРЕ2801, інший тип реле в блок-реле буде застосовуватись для виконання дистанційного захисту.

На захист подається різниця струмів в нейтралі генератора та міжфазна напруга від ТН на виводах генератора або двох фаз від ТС на виводах.

Реле БРЕ2801 вмикається так, щоб його кругова характеристика розміщувалася відповідно в III та IV квадрантах комплексної площини опорів [7-14].

основних захистів нашого трансформатора. Такий захист встановлюється на стороні ВН та виконується спрямованим у бік мережі ВН. Даний тип виконання передбачає наявність нижчих витримок часу у захистів ліній передач у мережі ВН. Захист приєднується до ТС, що вбудовані у вводи ВН, і до ТН, що розташовані на цьому ж боці. Спрямований захист виконується фільтр-реле сили струму та напрямку потужності типу РМОП-2, а ненаправлений - фільтр-реле струму типу РТФ-1М. Захист буде здійснюватися із трьома витримками часу та спрацьовувати аналогічно описаному вище струмовому захисту нульової послідовності.

Силу струму спрацьовування захисту зазвичай вибирають з умови узгодження за чутливістю з найбільш чутливими ступенями струмових захистів нульової послідовності ліній для розрахункових видів виникнення КЗ - замикання однієї фази або двох фаз на землю, звичайно з урахуванням струморозподілу в схемах заміщення нульової та зворотної послідовностей.

Величину витримки часу треба обирати за умовою узгодження з найбільш чутливими ступенями зазначених захистів ліній.

Вибір захисту від виникнення зовнішніх симетричних КЗ - максимальний струмовий захист із пуском за напругою. Даний тип захисту є додатковим до струмового захисту зворотної послідовності, може монтуватись на тому ж місці з використанням реле струму типу РТ-40 та мінімальним реле напруги типу РН-54/160.

Силу струму спрацьовування даного захисту вибирають зазвичай з умови відбудови від номінальної сили струму трансформатора на стороні його встановлення. Первинну напругу спрацьовування мінімального реле напруги типу РН-54/160 вибирають з умови забезпечення його повернення після вимкнення зовнішнього КЗ.

Витримка часу повинна обиратись із умови узгодження з найбільш чутливими ступенями захистів від виникнення багатофазних КЗ попередніх елементів [7-14].

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок захисту від виникнення симетричних перевантажень або максимальний струмовий захист в однофазному виконанні. Захист монтується на стороні ВН та з боку виводів обмоток трансформатора до нейтралі та виконується з реле струму типу РТ-40 та реле часу, що спрацьовує на сигнал.

Сила струму спрацьовування розраховується за наступним виразом:

$$I_{C,3} = I_{НОМ} \cdot \frac{k_{Ві\delta}}{k_{\Pi}}, \quad (2.30)$$

де $I_{НОМ}$ - номінальна сила струму трансформатора на стороні, де встановлено захист; k_{Π} - коефіцієнт повернення реле струму, $k_{\Pi} = 0,8$; $k_{Ві\delta} = 1,05$.

Необхідну силу струму спрацьовування реле визначається за наступним виразом:

$$I_{C,P} = \frac{I_{C,3} \cdot k_{СХ}}{k_{ТСА}}. \quad (2.31)$$

Витримка часу повинна обиратись більшою за максимальну витримку часу резервних захистів трансформатора.

Виконаємо розрахунок необхідних уставок захисту:

$$I_{C,3} = 357 \cdot \frac{1,05}{0,8} = 469(\text{А});$$

$$I_{C,P} = \frac{469 \cdot \sqrt{3}}{600/5} = 6,77(\text{А}).$$

Отже, приймаємо до встановлення струмове реле типу РТ-40/10.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

Висновки до розділу

Для вибору необхідних параметрів спрацьовування захистів було виконано розрахунок струмів КЗ, після чого було виконано розрахунок параметрів спрацьовування обраних захистів блока генератор-трансформатор та основних елементів власних потреб електростанції. Розроблено та запропоновано схеми відповідних захистів наведених в графічній частині.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність

3.1 Розрахунок параметрів спрацьовування РЗА

3.1.1 Захист підключених електродвигунів

Розрахуємо необхідні уставки захистів для наступних електродвигунів:

- електродвигун Д1: 4АЗМ-4000/6000 (ПЕН);

- електродвигун Д2: А-13-62-8 (ЦН).

Потрібні ТС будемо вибирати за номінальним струмом електродвигунів:

ТСА1: ТВЛМ-6-600/5-1-10Р-У3 (сила струму 445,8 А);

ТСА2: ТВЛМ-6-50/5-1-10Р-У3 (сила струму 45,7 А).

Виконання диференційного захисту буде зроблене із використанням реле типу ДЗТ-11. Під час виконання даного типу захисту за допомогою використання реле ДЗТ-11 на його обмотці гальмування завжди виставляють кількість витків - $W_r = 24$, і розрахунок захисту буде виконуватись тільки до визначення числа витків робочої обмотки реле ДЗТ-11.

Струм спрацьовування реле ДЗТ-11 має бути відстрочений від струму небалансу пускового струму [7-14]:

$$I_{НБ.ВТОР} = \frac{0,3k_{II} \cdot I_{Д.НОМ}}{k_I}, \quad (3.1)$$

де k_I - коефіцієнт трансформації сили струму на низькій стороні.

Визначимо гальмівний струм у реле ДЗТ-11:

$$I_{Г.ВТОР} = \frac{k_{II} \cdot I_{Д.НОМ}}{k_I}. \quad (3.2)$$

З умови надійного гальмування реле типу ДЗТ-11 в режимі пуску

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електродвигуна число витків робочої обмотки реле буде дорівнювати:

$$W_{\text{Роб}} \leq \frac{I_{\Gamma.\text{ВТОР}} \cdot \omega_{\Gamma} \cdot \text{tg}\alpha}{k_{\text{ОТ}} \cdot I_{\text{НБ.ВТОР}}} \quad (3.3)$$

або, якщо виразити силу струму небалансу у відносних одиницях (однакова як для первинного так і для вторинного кіл):

$$W_{\text{Роб}} = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot \text{tg}\alpha}{k_{\text{ОТ}} \cdot I_{\text{НБ}}}, \quad (3.4)$$

де $\text{tg}\alpha = 0,87$ - кут нахилу гальмівної характеристики реле типу ДЗТ-11;
 $k_{\text{ОТ}} = 1,5$.

У разі виникнення двофазного КЗ на виводах електродвигуна в зоні дії диференційного захисту магніторушійна сила (МРС) робочої обмотки реле типу ДЗТ-11 буде дорівнювати:

$$F_{\text{Роб}} = \frac{0,87 \cdot U_{\text{С.Ф.мін}} \cdot \omega_{\text{Роб}}}{k_I \cdot x_{\text{С}}}, \quad (3.5)$$

де $x_{\text{С}}$ - опір системи на виводах електродвигуна, а МРС гальмівної обмотки знайдемо із виразу:

$$F_{\Gamma} = \frac{0,87 \cdot U_{\text{д.ф}} \cdot \omega_{\Gamma}}{k_I \cdot x_{\text{Д}}} = \frac{0,87 k_{\text{П}} \cdot I_{\text{Д.НОМ}} \cdot \omega_{\Gamma}}{k_I}, \quad (3.6)$$

де $I_{\text{Д.НОМ}}$ - номінальний струм електродвигуна; $x_{\text{Д}}$ - пусковий опір електродвигуна; $k_{\text{П}}$ - кратність пускового струму електродвигуна.

Враховуючи, що мінімальна напруга на виводах електродвигуна під час

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

його пуску має бути $U_{д.ост} \geq 0,8$ відн. од., звідки в найгіршому випадку відношення опорів $(x_D/x_C)_{\max} = 4$, і приймаючи до уваги, що $U_{C.\phi\min} = U_{D.\phi}$, а первинний струм ТС повинен дорівнювати подвійній номінальній силі струму АД, одержуємо вираз для мінімального коефіцієнту чутливості:

$$k_{ч.\min} = \frac{F_{Роб} - F_{Г} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{F_{C.P}} = \frac{0,87U_{\phi}}{k_I \cdot x_D \cdot 100} x, \quad (3.7)$$

де $F_{C.P} = 100 \text{ А} \times \text{вит}$ - МРС реле типу ДЗТ-11.

З довідкової літератури [7-14] випливає, що коефіцієнт чутливості диференційного захисту в разі виникнення двофазних КЗ на виводах електродвигуна заздалегідь більший за два і перевірку можна не виконувати.

Сила струму небалансу для пускового струму розраховуємо відповідно до (3.1):

$$I_{НБ.ВТОР} = \frac{0,3 \cdot 5,7 \cdot 445,8}{600 / 5} = 6,35(\text{А}).$$

Тоді, гальмівна вторинна сила струму дорівнює:

$$I_{Г.ВТОР} = \frac{5,7 \cdot 445,8}{600 / 5} = 21,17(\text{А}).$$

Знайдемо необхідну кількість витків робочої обмотки:

$$W_{Роб.розр} = \frac{24 \cdot 21,17 \cdot 0,87}{1,5 \cdot 6,35} = 46,39(\text{вит.}),$$

приймаємо кількість витків $W_{Роб} = 46 \text{ вит.}$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок струмового захисту нульової послідовності. Струмовий захист нульової послідовності буде виконуватись на струмовому реле КА типу РТЗ-51. Дане реле РТЗ-51 підключається до вторинної обмотки ТС нульової послідовності ТАН типу ТЗЛМ.

Відповідно до ПУЕ [16] сила струму спрацьовування даного типу захисту повинна бути не більше 10 А для електродвигунів потужністю до 2000 кВт та не перевищувати 5 А для електродвигунів потужністю 2000 кВт та більше. При цьому повинна забезпечуватися надійна відстрочка від ємнісної сили струму, що створюється електродвигуном під час виникнення замикання на землю в мережі живлення. Мінімальне значення первинної сили струму спрацьовування захисту залежить від кількості використовуваних ТСА нульової послідовності, схеми їх з'єднання та використаних типів реле. Прийmemo силу струму I_{C3} за використання одного ТСА типу ТЗЛ із застосуванням реле типу РТЗ-51 для захисту електродвигуна (потужністю до 4000 кВт) сила струму спрацьовування 0,67 А, а для захисту (вище 4000 кВт) за три ТСА - 1,08 А. Прийmemo силу струму замикання на землю рівною - $I_{C3} = 1,7$ А.

Коефіцієнт чутливості захисту визначається згідно із наступним виразом і він повинен бути не менше за 1,25:

$$k_q = \frac{I_3}{I_{C.3}} . \quad (3.8)$$

Визначимо коефіцієнти чутливості для наших електродвигунів:

$$\text{Для першого електродвигуна Д1: } k_q = \frac{1,7}{1,08} = 1,57 > 1,25 ,$$

$$\text{Для другого електродвигуна Д2: } k_q = \frac{1,7}{0,67} = 2,5 > 1,25 .$$

Вибір струму спрацьовування захисту від виникнення подвійних замикань на землю. Первинна сила струму спрацьовування даного захисту повинна бути

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

достатньою для забезпечення вимкнення електродвигуна в разі виникнення подвійних замикань на землю, якщо одне із місць замикань буде знаходитись в статорній обмотці електродвигуна. У зв'язку з використанням для цього захисту ТСА нульової послідовності, до яких приєднується реле струму типу РТ-40/2, первинна сила струму спрацьовування даного захисту становить близько 100-200 А.

Підбір захисту мінімальної напруги. Захист мінімальної напруги виконується єдиним комплектом у вигляді групового захисту та монтується на кожній секції шин 3-6 кВ. Даний захист завжди виконується двоступеневим за напругою спрацьовування та часом дії [7-14].

Рівень напруги необхідний для спрацьовування першого ступеня даного захисту обирають виходячи з умови забезпечення самозапуску відповідальних електродвигунів та повернення реле під час відновлення рівня напруги після вимкнення КЗ, її приймають рівною $U_{1c.p.}=70$ В. Витримка в часі першого ступеня захисту відбувається через дію струмових відсічок електродвигунів та приймається рівною $t_1=0,5$ сек.

Рівень напруги спрацьовування для другого ступеня захисту залежить від зниження рівня напруги на шинах РУСН, викликаного самозапуском, і приймається на рівні - $U_{2c.p.}=50$ В.

Витримка в часі для другого ступеня захисту t_2 повинна обиратись в залежності від допустимого часу подачі палива в топку котла після моменту виникнення перерви в живленні електродвигунів димососа та вентилятора і становить приблизно 3-9 сек. Лінійна напруга спрацьовування фільтр-реле напруги зворотної послідовності типу РНФ-1М має залежати від рівня напруги небалансу під час нормального режиму роботи та приймається рівною мінімальній уставці на шкалі реле $U_{2c.p.}=6$ В.

Розрахунок струмового захисту від виникнення перевантаження. Захист від перевантаження виконується як звичайний максимальний струмовий захист.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для захисту достатньо використовувати одне реле для струму з увімкненням його на фазний струм, тому що перевантаження, як правило, є симетричним режимом, а отже, воно має місце у всіх фазах.

Сила струму спрацьовування захисту вибирається за умовою відстрочки від номінальної сили струму електродвигуна [7-14]:

$$I_{C.3} = \frac{k_H}{k_{\Pi}} \cdot I_{H.ДВ} , \quad (3.9)$$

де k_{Π} - коефіцієнт повернення реле, $k_{\Pi} = 0,8$; k_H - коефіцієнт надійності, $k_H = 1,2$.

Визначимо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{C.P} = \frac{k_{CX} \cdot I_{C.3}}{k_{TCA}} , \quad (3.10)$$

де k_{CX} - коефіцієнт схеми, $k_{CX} = 1,0$.

Чутливість захисту від перевантаження не буде перевірятись, оскільки даний захист не призначений для спрацювання в разі виникнення КЗ. Витримка часу захисту буде підбиратись відповідно до часу запуску електродвигуна, на який змонтовано захист. У разі використання реле часу встановлена витримка часу повинна більшою за час самозапуску та запуску електродвигуна.

Розрахунок сили струму спрацьовування даного захисту будемо виконувати згідно із (3.9):

$$\text{Для першого двигуна Д1: } I_{C.3} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 445,8 = 668,7(\text{А}).$$

$$\text{Для другого двигуна Д2: } I_{C.3} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 45,7 = 68,55(\text{А}).$$

Розрахуємо силу струму спрацьовування реле:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для першого електродвигуна Д1: $I_{C,P} = \frac{668,7 \cdot 1}{600 / 5} = 5,57(\text{А})$.

Для другого електродвигуна Д2: $I_{C,P} = \frac{68,55 \cdot 1}{50 / 5} = 6,89(\text{А})$.

Для електродвигунів Д1 та Д2 вибираємо струмове реле типу РТ40-10.

Розрахунок струмового відсікання. сила струму спрацьовування захисту струмовим відсіканням буде обиратися за умовою відстрочки від пускової сили струму електродвигуна за наступним виразом:

$$I_{C,3} = k_H \cdot I_{ПУСК}, \quad (3.10)$$

де k_H - коефіцієнт надійності, що враховує похибку самого реле та присутність аперіодичної складової в пусковому струмі електродвигуна; для реле типу РТ40 приймається рівним $k_H = 1,4$; а $I_{ПУСК}$ - пускова сила струму електродвигуна за номінальної напруги мережі живлення.

Сила пускового струму електродвигуна визначається відповідно до номінального струму та кратності пускового струму:

$$I_{ПУСК} = k_{II} \cdot I_{НОМ}, \quad (3.11)$$

де k_{II} - кратність сили пускового струму електродвигуна.

Розрахунок сили струму спрацьовування реле відсічення буде виконуватись згідно із наступним виразом:

$$I_{C,P} = \frac{k_{CX} \cdot I_{C,3}}{k_{ТС}}, \quad (3.12)$$

де k_{CX} - коефіцієнт схеми, $k_{CX} = 1,0$; $k_{ТС}$ - коефіцієнт трансформації ТС.

Сила струму спрацьовування відсічення, визначена відповідно до виразу

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

(3.10), достатня для відбудови захисту від сили струму, що посиляється електродвигуном у початковий момент виникнення зовнішнього КЗ у мережі живлення [7-14].

Чутливість струмового відсічення буде перевірятись за виникнення двофазного КЗ на виводах електродвигуна та буде виконуватись оцінка за допомогою коефіцієнту чутливості. Під час увімкнення на фазні струми:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К,З}}^{(2)}}{I_{\text{С,Р}} \cdot k_{\text{ТСА}}}, \quad (3.13)$$

де $I_{\text{К,З}}^{(2)}$ - струм при виникненні двофазного КЗ, що проходить через ТС захисту в разі наявності пошкоджень на виводах електродвигуна.

Коефіцієнт чутливості захисту згідно із ПУЕ повинен бути не нижче 2,0 [16].

Відповідно до (3.11) знайдемо пусковий струм:

$$I_{\text{ПУСК}} = 5,3 \cdot 45,7 = 242,21(\text{А});$$

тоді, сила струму спрацьовування захисту дорівнюватиме:

$$I_{\text{С,З}} = 1,4 \cdot 242,21 = 339,09(\text{А}).$$

Знайдемо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{\text{С,Р}} = \frac{1 \cdot 339,09}{50,5} = 33,91(\text{А}).$$

Вибираємо струмове реле типу РТ-40/50.

Коефіцієнт чутливості знайдемо із формули:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

$$K_q = \frac{9294}{33,909 \cdot 50/5} = 27,4 > 3.$$

3.1.2 Захист ТВП 6/0,4 кВ

Для живлення РЗА приймаємо наступні типи ТС:

- ТСА на стороні 6 кВ - типу ТВЛМ-6-75/5-1/10Р-У3;
- ТСА в нейтралі обмотки 0,4 кВ - типу ТЛМ-10-1-1000/5-0,5/10РУЗ.

Розрахунок необхідної струмової відсічки. Відсікання струмом монтується на стороні 6 кВ трансформатора і виконується за допомогою використання двох реле струму, увімкнених на фазні струми [7-14].

Розрахуємо силу струму спрацьовування даного захисту:

$$I_{C.O} = k_H \cdot I_K^{(3)}, \quad (3.14)$$

де $I_K^{(3)}$ - сила струму, що проходить через ТС захисту при виникненні трифазного КЗ на стороні 0,4 кВ; k_H - коефіцієнт надійності, $k_H = 1,4$.

Знайдемо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{CP.P} = \frac{I_{C.O} k_{ex}}{k_{TC}}. \quad (3.15)$$

Коефіцієнт чутливості ТС перевіряється при виникненні двофазного КЗ на виводах 6 кВ трансформатора:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C.O}}. \quad (3.16)$$

Силу струму спрацьовування відсічення розраховуємо згідно формули

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

(3.14):

$$I_{C.O} = 1,4 \cdot 11252 \cdot \frac{0,4}{6} = 1050(\text{A}).$$

Знайдемо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{C.P} = \frac{1050 \cdot 1}{75/5} = 70(\text{A}).$$

Для монтажу використаємо струмове реле типу РТ-40 [7-14].

Коефіцієнт чутливості для якого розраховуємо згідно виразу (3.16):

$$k_{\text{ч}} = \frac{(\sqrt{3}/2) \cdot 9744}{1050} = 8,04 > 2.$$

Розрахунок максимального струмового захисту (МСЗ) на стороні 6 кВ. МСЗ виконується з витримкою часу з використанням трьох реле струму з увімкненням двох реле на фазні струми та одного реле на суму сил струмів двох фаз.

Розрахуємо силу струму спрацьовування захисту:

$$I_{C.З} = \frac{k_H}{k_{\Pi}} \cdot I_{ГР.П} , \quad (3.17)$$

де $k_H = 1,2$; $k_B = 0,8$ - обидва коефіцієнти для РТ-40; $I_{ГР.П}$ - визначимо за формулою:

$$I_{ГР.П} = (3 - 3,5) \cdot I_{НВ.Т} . \quad (3.18)$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

Розрахуємо силу струму спрацьовування реле [7-14]:

$$I_{C.P} = \frac{I_{C.3}}{K_{TCA}}. \quad (3.19)$$

Коефіцієнт чутливості необхідно перевіряти за наступною формулою:

$$k_{ч} = \frac{I_K^{(1)}}{I_{C.3}} = \frac{I_K^{(3)}}{I_{C.3}}, \quad (3.20)$$

де $I_K^{(3)}$ – сила струм виникнення трифазного КЗ з боку 0,4 кВ, наведеного до вищої сторони.

Знайдемо силу струму групового пуску:

$$I_{гр.п} = 3 \cdot 60,62 = 181,86(\text{А}).$$

Розрахуємо силу струму спрацьовування захисту та відповідно силу струм спрацьовування реле:

$$I_{C.3} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 181,86 = 272,8(\text{А});$$

$$I_{C.P} = \frac{272,8}{75/5} = 10,91(\text{А}).$$

Для монтажу приймаємо струмове реле типу РТ-40/20 .

Виконаємо перевірку захисту на чутливість згідно (3.20) [7-14]:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65

$$k_{\text{ч}} = \frac{10732 \cdot (0,4 / 6)}{272,8} = 2,62 > 2.$$

Даний захист повністю відповідає за чутливістю.

Розрахунок струмового захисту нульової послідовності в нейтралі обмотки трансформатора 0,4 кВ. Даний тип захисту виконується за допомогою використання одного реле струму, увімкненого у нульовий провід ТС максимального струмового захисту, з'єднаних «зіркою». Даний захист діє з витримкою часу на відключення відповідного автомата 0,4 кВ.

Силу струму спрацьовування будемо обирати з умови відстрочки від сили струму спрацьовування відсічення автоматичного вимикача, з яким виконується узгодження, і від номінальної сили струму, що протікає в нейтралі обмотки трансформатора 0,4 кВ [7-14].

$$I_{\text{С.З}} = 1,1 \cdot I_{\text{ТС.АВ}}; \quad (3.21)$$

$$I_{\text{С.З}} = 0,25 \cdot I_{\text{НН.Т}}, \quad (3.22)$$

де $I_{\text{ТС.АВ}} = 2500 \text{ А}$; $I_{\text{НН.Т}} = 909,33 \text{ А}$.

Для подальших розрахунків будемо використовувати більшу із сил струмів.

Знайдемо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{\text{С.Р}} = \frac{I_{\text{С.З}}}{K_{\text{ТСА}}}. \quad (3.23)$$

Розрахуємо коефіцієнт чутливості за наступною формулою:

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

$$k_q = \frac{I_K^{(3)}}{I_{C.3}}, \quad (3.24)$$

де $I_K^{(3)}$ – струм виникнення трифазного КЗ на стороні 0,4 кВ.

Розраховуємо силу струму спрацьовування захисту за двома умовами:

$$I_{C.3} = 1,1 \cdot 2500 = 2750(\text{A});$$

$$I_{C.3} = 0,25 \cdot 909,33 = 227,33(\text{A}).$$

Приймаємо силу струму рівною $I_{C.3} = 2750\text{A}$.

Знайдемо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{C.P} = \frac{2750}{1000/5} = 13,75(\text{A}).$$

Для монтажу використаємо струмове реле типу РТ-40/20.

Перевіримо захист на чутливість згідно формули (3.24):

$$k_q = \frac{10732}{2750} = 3,9 > 1,5.$$

Розрахунок захисту від перевантаження. Монтується на стороні 6 кВ трансформатора, виконується за допомогою використання реле струму, увімкненого на фазний струм, і діє на сигнал із витримкою часу [7-14].

Розрахуємо силу струму спрацьовування захисту:

$$I_{C.3} = \frac{k_H}{k_{\Pi}} \cdot I_{\text{НВ.Т}}, \quad (3.25)$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де k_H - коефіцієнт надійності, $k_H = 1,05$; k_{II} - коефіцієнт повернення реле, $k_{II} = 0,8$.

Знайдемо силу струму спрацьовування реле:

$$I_{C.P} = \frac{I_{C.3} \cdot k_{CX}}{K_{TCA}}. \quad (3.26)$$

Знайдемо сили струмів спрацьовування захисту та реле:

$$I_{C.3} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 60,62 = 79,56(\text{A});$$

$$I_{C.P} = \frac{79,56 \cdot 1}{75/5} = 3,18(\text{A}).$$

Для монтажу використаємо струмове реле типу РТ-40/6.

3.1.3 Захист ТВП 10/6 кВ

Розрахунок диференціального захисту ТВП. Диференціальний захист ТВП буде виконуватись із використанням реле типу ДЗТ-21. Розрахунок виконується в наступній послідовності.

Первинну мінімальну силу струму спрацьовування даного захисту вибирають за умовою відстрочки від кидка струму намагнічування під час увімкнення ненавантаженого трансформатора під напругу (гальмування в цьому режимі відсутнє) [7-14]:

$$I_{C.3.MIN} \geq k \cdot I_{НОМ}, \quad (3.27)$$

де k - коефіцієнт відбудови від кидка струму намагнічування, $k = 0,3$.

Крім того, виконуємо перевірку відстрочки від розрахункової сили струму небалансу в режимі, що відповідає режиму «початку гальмування»:

$$I_{С.З.МІН} \geq k_{ВД} \cdot I_{НБ,ТОРМ,НАЧ} = k_{ОТС} \cdot (I'_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} + I''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} + I'''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ}), (3.28)$$

де $k_{ВД} = 1,5$; $I'_{НБ,ГАЛ,ПОЧ}$, $I''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ}$, $I'''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ}$ - розраховується відповідно до наступних формул:

- складова сили струму небалансу, спричинена похибкою ТС:

$$I'_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} = k_{ПЕР} \cdot k_{ОДН} \cdot \varepsilon \cdot I_{КМАХ}, (3.29)$$

де $I_{КМАХ}$ - максимальний струм виникаючого трифазного КЗ на шинах 6кВ СН; $k_{ПЕР} = 1$; $\varepsilon = 0,05$.

- складова сили струму небалансу, спричинена регулюванням напруги на трансформаторі:

$$I''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} = \Delta U \cdot I_{КМАХ}, (3.30)$$

де ΔU - половина сумарного діапазону регулювання рівня напруги на трансформаторі.

- складова $I'''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ}$, зумовлена розбіжністю розрахункових та номінальних сил струму відгалужень трансформатора типу ТАУ, що використовуються, визначається за наступним виразом:

$$I'''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} = \frac{I_{ОТВ.РОБ.Розр} - I_{ОТВ.РОБ}}{I_{ОТВ.РОБ.Розр}} \cdot I_{ГАЛ.ПОЧ.П}, (3.31)$$

де $I_{ОТВ.РОБ.Розр}$ та $I_{ОТВ.РОБ}$ - номінальна та розрахункова сила струмів відгалужень транс-реактора реле на стороні НП трансформатора; $I_{ГАЛ.ПОЧ.П}$ - первинна сила струму в гальмівній обмотці, відповідна до початку гальмування, який визначається:

$$I_{ГАЛ,ПОЧ,П} = 0,5 \cdot I_{НОМВН} \left(\frac{I_{ОТВ.ГАЛ.ВН}}{I_{ОТВ.ГАЛ.РозрВН}} + \frac{I_{ОТВ.ГАЛНН}}{I_{ОТВ.ГАЛ,РозрНН}} \right) I_{*ГАЛ.ПОЧ} \quad (3.32)$$

Розраховуємо вторинні сили струму в плечах даного захисту, що відповідають повній номінальній потужності трансформатора:

$$I_B = \frac{I_{НОМ} \cdot k_{СХ}}{K_{ТСА}} \quad (3.33)$$

Для сторони, де значення сили струму виходить за межі діапазону номінальних струмів трансформатора робочого ланцюга реле захисту (2,5-5 А) більше, ніж на 0,5 А, мають бути встановлені АТС.

Знайдемо номінальні сили струмів робочих відгалужень $I_{ОТВ.РОБ}$ від обмотки транс-реактора реле.

- знайдемо для сторони нижчої напруги трансформатора СН:

$$I_{ОТВ.РОБ_1} \leq I_{B_1} \quad (3.34)$$

Для сторони нижчої напруги номінальна сила струму відгалуження трансреактора вибирається як найближча (більша або менша) до значення, отриманого за наступним виразом:

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		70

$$I_{OTB,POB_2} = I_{OTB,POB_1} \cdot \frac{I_{B_2}}{I_{B_1}}. \quad (3.35)$$

Відповідно до вибраних номінальних сил струмів відгалужень транс-реактора реле типу ТАВ буде визначати відносну мінімальну силу струму спрацьовування (за відсутності режиму гальмування) для кожного з плечей РЗА в частках номінального струму відгалуження транс-реактора в даному плечі:

$$I_{*CP_MIN} = 0,3 \cdot \frac{I_B}{I_{OTB,POB}}. \quad (3.36)$$

Первинна сила струму спрацьовування диференціальної відсічки реле визначається згідно наступних умов:

- за умовою відстрочки від кидка сили струму намагнічування трансформатора;
- за умовою відстрочки від максимальної первинної сили струму небалансу при розрахунковому зовнішньому КЗ [7-14].

За умовою відстрочки від максимальної первинної сили струму небалансу:

$$I_{Pozp,C,OTC} = k_{OTC} \cdot I_{HB,Pozp,Bidc}, \quad (3.37)$$

де $k_{OTC} = 1,5$; $I_{HB,Pozp,Bidc}$ - сила струму визначається згідно із (3.20); при цьому $\varepsilon = 0,1$; k_{PER} - коефіцієнт, $k_{PER} = 3,0$.

Відстроювання за першою умовою, як правило, повинне забезпечувати за номінальної уставки реле за струмом спрацьовування відсічення на рівні $(6 \cdot I_{OTB,HOM})$.

Первинна сила струму спрацьовування відсічення на основній стороні, що відповідає мінімальній уставці на реле, може бути розрахована за наступною

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк. 71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

формулою:

$$I_{C,Відс} = 6 \cdot I_{OTB,НОМ} \cdot \frac{K_{TCA}}{k_{CX}}. \quad (3.38)$$

Якщо сила струму $I_{Pозр,Відс}$, визначена за другою умовою, перевищує значення сили струму за (3.37), слід виставити на реле уставку спрацьовування відсічення величиною $9 \cdot I_{OTB,НОМ}$.

Розрахунок кола відсоткового гальмування виконується за умовою відстрочки від струмів небалансу, зумовлених періодичною складовою струму виникнення зовнішнього КЗ. Як було описано вище, рекомендується використання двох ланцюгів відсоткового гальмування, що вмикаються із сторони ВН та НН трансформатора.

Відгалуження проміжних ТС кіл гальмування ТСА1 та ТСА2 обирають рівними або найближчими до величини розрахункового струму (з урахуванням установлення вирівнювальних АТС на відповідній стороні трансформатора):

$$I_{OTB,ГАЛ} \approx I_{OTB,ГАЛ,Розр} = I_B. \quad (3.39)$$

Довідкова література [7-14] рекомендує вибирати відгалуження із найближчим меншим значенням сили струму. Однак у випадку, коли різниця між величиною розрахункової сили струму та найближчою меншою номінальною силою струму відгалуження дуже велика, доцільно використовувати найближче більше значення.

Визначається первинна сила струму на стороні ВН трансформатора, що відповідає режиму «початку гальмування» з урахуванням прийнятих відгалужень проміжних ТСА1 та ТСА2 ланцюга гальмування реле [7-14]:

$$I_{ГАЛ,ПОЧ,П} = 0,5I_{НОМ_1} \left(\frac{I_{ОТВ,ГАЛ_1}}{I_{ОТВ,ГАЛ,Розр_1}} + \frac{I_{ОТВ,ГАЛ_2}}{I_{ОТВ,ГАЛ,Розр_2}} \right) \cdot I_{*ГАЛ,ПОЧ} \cdot \cdot \quad (3.40)$$

Коефіцієнт гальмування $k_{Г}$, що дорівнює тангенсу кута нахилу гальмівної характеристики реле, рекомендується приймати на рівні $k_{Г} = 0,9$ та виконувати перевірку за умовою забезпечення не спрацювання захисту від максимальної сили струму небалансу під час перехідного режиму виникнення зовнішнього КЗ.

$$k_{Г} = \frac{\Delta I_{*Д}}{0,5\Delta \sum I_{*залм}} = \frac{k_{ОТС} \cdot I_{*НБ,Розр,В} - I_{*СР,min}}{0,5 \sum I_{*ГАЛ,Розр,В} - I_{*ГАЛ,ПОЧ}} =$$

$$= \frac{k_{ОТС} \cdot I_{*НБ,РАСЧ} \cdot \frac{I_{В_1}}{I_{ОТВ,РАБ_1}} - I_{*С,Р,min}}{0,5I_{*ТОРМ,РАСЧ} \left(\frac{I_{ОТВ,ТОРМ,РАСЧ_1}}{I_{ОТВ,ТОРМ_1}} + \frac{I_{ОТВ,ТОРМ,РАСЧ_2}}{I_{ОТВ,ТОРМ_2}} \right) - I_{*ТОРМ,НАЧ}} \leq 0,9, \quad (3.41)$$

де $0,5 \sum I_{*ГАЛ,Розр}$ - півсума відносних вторинних сил струмів, що підводяться до відгалужень проміжних ТС кола гальмування реле під час розрахункового зовнішнього КЗ; $I_{*НБ,Розр,В}$ - відносна максимальна розрахункова сила струму небалансу в робочому колі реле; $k_{ОТС} = 1,5$; $I_{*НБ,Розр} = \frac{I_{НБ,Розр}}{I_{НОМ_1}}$.

Знайдемо силу струму небалансу:

$$I_{НБ,Розр} = (I'_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} + I''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ} + I'''_{НБ,ГАЛ,ПОЧ}). \quad (3.42)$$

Складові сил струму $I'_{НБ,Розр}, I''_{НБ,Розр}$ визначаються за описаною нами методикою відповідно із заміною сили струму $I_{К,МАХ}$ на $I_{МАХ,П}$. Сила струму $I'''_{НБ,Розр}$ буде визначатися за наступним виразом [13, 14]:

$$I_{НБ.,Розр}''' = \left(\frac{I_{ОТВ,РОБ-Розр} - I_{ОТВ,РОБ}}{I_{ОТВ,ГАЛ,Розр}} \right) \cdot I_{МАХ,П}, \quad (3.43)$$

де $I_{ОТВ.РОБ}$, $I_{ОТВ.РОБ,Розр}$ - вибрана та розрахункова номінальна сила струму відгалужень трансреактора; $I_{МАХ,П}$ - максимальна первинна сила струму у розрахунковому режимі.

Якщо розрахунковий коефіцієнт гальмування буде перевищувати межу 0,9, потрібно виконати розрахунок повторно, вибравши відгалуження ланцюга гальмування реле за меншою номінальною силою струму.

Чутливість РЗА в разі металевого пошкодження в зоні, що захищається, як правило, забезпечується, і виконання перевірки є не обов'язковим [7-10].

Визначимо первинну силу струму спрацьовування захисту згідно з (3.27):

$$I_{С.З.МІН} = 0,3 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 288,68(\text{А}).$$

Визначимо номінальні сили струмів трансформаторів та виберемо коефіцієнти ТС та їх типи:

$$I_{НОМ,1} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 557,35(\text{А});$$

$$I_{НОМ,2} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 962,25(\text{А}),$$

КТА1: ТЛ-10-1-600/5-0,5/10Р-УЗ,

КТА2,3: ТЛ-10-1-1000/5-0,5/10Р-УЗ.

Розраховуємо вторинні сили струми в плечах РЗА:

$$I_{B1} = \frac{557,35 \cdot 1}{600 / 5} = 4,64(\text{A});$$

$$I_{B2} = \frac{962,25 \cdot 1}{1000 / 5} = 4,81(\text{A}).$$

Знайдемо номінальні сили струмів відгалужень трансреактора:

$$I_{\text{ОТВ.РОБ}_1} \leq 4,64\text{A},$$

приймаємо для подальших розрахунків відгалуження 2 згідно літератури [7-14]

$$I_{\text{Н.ОТВ}_1} = 4,6\text{A};$$

$$I_{\text{ОТВ.РОБ}_2} = 4,6 \cdot \frac{4,81}{4,64} = 4,77(\text{A}),$$

приймаємо для подальших розрахунків відгалуження 2 згідно літератури [7-14]

$$I_{\text{Н.ОТВ}_1} = 4,6\text{A};$$

Визначаємо відносну мінімальну силу струму спрацьовування:

$$I_{*CP_MIN_1} = 0,3 \cdot \frac{4,64}{4,6} = 0,305;$$

$$I_{*CP_MIN_2} = 0,3 \cdot \frac{4,77}{4,6} = 0,31.$$

отже, приймаємо силу струму на рівні $I_{*CP_MIN} = 0,31$.

Розрахуємо силу струму відгалужень проміжних ТС ланцюга гальмування:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{OTB,ГАЛ,Розр_1} = 4,64(A),$$

отже, приймаємо силу струму $I_{OTB_ГАЛ_1} = 5(A)$ [8];

$$I_{OTB,ГАЛ,Розр_2} = 4,81(A),$$

отже, приймаємо силу струму $I_{OTB_ГАЛ_2} = 5(A)$ [8].

Визначаємо гальмівну початкову пускову силу струму:

$$I_{ГАЛ,ПОЧ,П} = 0,5 \cdot 557,35 \cdot \left(\frac{5}{4,64} + \frac{5}{4,81} \right) \cdot 0,6 = 353,99(A).$$

Виконаємо перевірку відстрочки захисту в режимі «початку гальмування» за відомим виразом:

$$I_{C.3.MIN} \geq 1,5 \cdot (1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 353,99 + 0,09 \cdot 353,99 + \frac{4,77 - 4,6}{4,6} \cdot 353,99) = 74,22(A),$$

що повністю задовольняє відстрочці захисту в режимі «початку гальмування» $74,22 < 288,68$.

Коефіцієнт гальмування приймаємо рівним 0,9 та перевіряємо за умовою надійності захисту.

3.1.4 Груповий захист мінімальної напруги секції власних потреб

Вимірювальна частина групового захисту мінімальної рівня напруги містить фільтр-реле напруги зворотної послідовності KVZ типу РНФ-1М, вторинну напругу спрацьовування якого приймаємо на рівні $U_{2C,3} = 12В$ [7-4].

Перший ступінь захисту з уставками $U_B = 0,7$ в.о. та $t_{CP} = 0,5$ с відключає

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електродвигуни невідповідальних механізмів.

Другий ступінь захисту з уставками $U_B = 0,5$ в.о. та $t_{CP} = 3 - 9$ с відключає електродвигуни парних механізмів.

Третій ступінь захисту з уставками $U_B = 0,25$ в.о. та $t_{CP} = t_{МТЗ,ВВОДА} + 0,3$ с забезпечує запуск АВР секції СН у разі зникнення напруги живлення, що запобігає порушенню технологічного режиму блока.

Висновки до розділу

Виконано аналітичні розрахунки по захисту підключених електродвигунів та трансформаторів власних потреб на сторонах 6/0,4 кВ та 10/6 кВ, а також розраховано груповий захист мінімальної напруги секції власних потреб від коротких замикань та коливань навантаження, підібрано необхідне обладнання.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

Відповідно до матеріалів типових проєктів та державних стандартів було розроблено та запропоновано ГСЕЗ та схему власних потреб, та підібрано для цих схем основне обладнання.

Для забезпечення безперебійної роботи всієї електроенергетичної системи, було виконано підбір пристроїв РЗА для трансформаторів, генераторів, шин та електродвигунів, а також пристроїв автоматичного регулювання збудження (АРЗ), автоматичного повторного вмикання (АПВ), автоматичного регулювання напруги (АРН) тощо.

Для вибору необхідних параметрів спрацьовування захистів було виконано розрахунок виникаючих струмів КЗ, після чого було виконано розрахунок параметрів спрацьовування обраних захистів блока генератор-трансформатор та основних елементів власних потреб електростанції. Розроблено та запропоновано схеми відповідних захистів наведених в графічній частині.

Виконано аналітичні розрахунки по захисту підключених електродвигунів та трансформаторів власних потреб на сторонах 6/0,4 кВ та 10/6 кВ, а також розраховано груповий захист мінімальної напруги секції власних потреб від коротких замикань та коливань навантаження, підібрано необхідне обладнання.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. - 102 с.

9. Баженов В. М., Одетов М. М. Сучасні технології та методи побудови систем релейного захисту і автоматики в електроенергетиці - Режим доступу: web.kpi.kharkov.ua/avkib/uk/metodichnezabezpechennya/

10. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання / Говоров П.П. та ін. – К. 1996. – 350 с.

11. Баженов В. Н. Релейная защита элементов электрической сети с напряжениями 110...0,4 кВ: пособ. для практ. расчетов. Харьков: Планета-Принт, 2017. - 96 с.

12. Кідиба В. П., Шелепетень Т. М. Захист ліній електропередачі. Львів: Вид. Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. - 185 с.

13. Кідиба В. П., Шелепетень Т. М. Захист трансформаторів та автотрансформаторів. Львів: Вид. нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. - 180 с.

14. Релейная защита и автоматика энергетических систем / В. Н. Баженов, К. В. Ушаповский, О. Г. Гриб и др. Харьков: «Типография Мадрид», 2015. - 340 с.

15. Які вихідні дані вимагає програма ТКЗ-3000 для виконання розрахунків?– Режим доступу:

http://ni.biz.ua/9/9_22/9_221717_kakie-ishodnie-dannie-trebuets-programma-TKZ--dlya-vipolneniya-raschetov.html

16. Правила улаштування електроустановок. Харків: Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		80