

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Будько В.І.

“ ____ ” _____ 2021 р.

Дипломний проект

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії) на тему: Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт

Виконав:

Студент ІV курсу, групи ЕТ-71

Коваль Антон Сергійович _____

Керівник:

Професор, д.т.н.

Костерев Микола Володимирович _____

Консультант:

Рецензент:

доцент, к.т.н. Кацадзе Т.Л _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електричні станції»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Будько В.І.
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Ковалю Антону Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт»
затверджені наказом по університету від «28» «квітня» 2021 р. №1095-с.

2. Строк подання студентом проекту «07» «червня» 2021 р.

3. Вихідні дані до проекту: 1) Сумарна потужність електричної станції 720 МВт; 2) Потужність генераторів збірних шин 120 МВт; 3) Напруга РП збірних шин – 10,5 кВ; 4) Потужність місцевого навантаження 75.4 МВт; 5) Потужність розрахункового відгалуження 5.82 МВт; 6) Кількість відгалужень лінії місцевого навантаження 26; 7) Потужність, що видається в мережу 110 кВ – 87.4 МВт 8) Граничний струм КЗ на шинах приєднання 30.4 кА; 9) напруга енергосистеми – 330 кВ;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1) вибір головної схеми електричних з'єднань електростанції: виконати техніко-економічне обґрунтування вибору структурної схеми електростанції та вибрати генератори, трансформатори; вибрати схеми електричних з'єднань розподільчих пристроїв; вибрати трансформатори та схему електропостачання власних потреб електростанції; вибрати схему електропостачання місцевого навантаження; 2) Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів: виконати розрахунок струмів к.з.; вибрати комутаційні апарати;

ти, реактори та вимірювальні трансформатори за умовами нормального режиму та перевірити їх за результатами розрахунку струмів к.з.; 3) Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання.

5. Перелік графічного матеріалу:

5.1. Однолінійна головна схема електричних з'єднань ТЕЦ;

5.2. Регулювання збудження генератора;

5.3. Вплив регулятора збудження генератора на струм КЗ.

6. Дата видачі завдання «20» «березня» 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Техніко-економічне обґрунтування вибору структурної схеми електростанції	7 березня 2021	
2	Розрахунок струмів к.з. та вибір електричних апаратів	2 квітня 2021	
3	Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання	9 червня 2021	

Студент

(підпис)

Коваль А.С.

Керівник проекту

(підпис)

Костерев.М.В.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.ЕТ-7106.004.БР.ПЗ	Пояснювальна записка	90	
3	A1	141.ЕТ-7106.004.ТК1	Однолінійна головна схема електричних з'єднань ТЕЦ	1	
4	A1	141.ЕТ-7106.004.ТК2	Регулювання збудження генератора	1	
5	A1	141.ЕТ-7106.004.ТК3	Вплив регулятора збудження генератора на струм КЗ	1	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕТ-7106.004.БР.ВДП			
Розроб.		Коваль А.С.			Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт. Відомість дипломного проекту	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Костерев М.В.					4	90
Н. Контр.		Матесенко Ю.П.			КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВДЕ гр. ЕТ-71			
Затв.		Будько В.І.						

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 90 аркушах, та на 3х листах графічної частини.

Бакалаврський проект включає в себе такі частини:

1. Вибір головної схема електричних з'єднань електростанції.
2. Вибір електричного обладнання: генератори, трансформатори зв'язку, трансформатори блоку, автотрансформатори, вимикачі, роз'єднувачі та інші.
3. Розраховано струми кз та вибрано комутаційне обладнання.

В третьому, спеціальному, розділі пояснювальної записки проведений аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		5

ABSTRACT

The diploma project is executed on 90 sheets, and on 3 sheets of a graphic part.

The bachelor's project includes the following parts:

1. Selection of the main scheme of electrical connections of the power plant.
2. Choice of electrical owner: generators, communication transformers, unit transformers, autotransformers, switches, disconnectors and others.
3. Short-circuit currents are calculated and switching equipment is selected.

In the third, special, section of the explanatory note the analysis of influence of the regulator of excitation of the generator on short-circuit current is carried out.

					141.ET-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень.....	9
Вступ	10
1. Вибір головної схеми електричних з'єднань станції	11
1.1. Структурна схема і схема електричних з'єднань ТЕЦ	12
1.2. Вибір електрообладнання ТЕЦ	15
1.2.1. Вибір турбогенераторів	15
1.2.2. Вибір трансформаторів зв'язку та блочних	16
1.2.3. Вибір блочних трансформаторів	17
1.2.4. Вибір автотрансформатора зав'язку.....	19
1.2.5. Вибір секційного реактору.....	21
1.3. Техніко - економічне порівняння варіантів структурних схем станції	22
1.4. Вибір схем електричних з'єднань розподільчих пристроїв	25
1.4.1. Вибір електричної схеми ВРП – 330.....	25
1.4.2. Вибір електричної схеми ВРП – 110	24
1.4.3. Вибір електричної схеми ВРП – 10.5	27
1.4.4. Вибір трансформаторів та схеми електропостачання ВП.....	28
Висновок до першого розділу	29
2. Розрахунок струмів КЗ та перевірка комутаційного обладнання.....	31
2.1. Розрахунок струмів КЗ методом розрахункових кривих.....	32
2.1.1. Визначення опору системи.....	32
2.1.2. Розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10.5 кВ.....	35
2.1.3. Розрахунок струму короткого замикання на РП 110 кВ.....	42
2.1.4. Розрахунок однофазного короткого замикання на РП 110 кВ.....	46
2.2. Вибір і перевірка обладнання розрахункового відгалуження.....	49
2.2.1. Вибір лінійного реактора на розрахунковому відгалуженні.....	49

					141.ЕТ-7106.004.БР.ВДП			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Коваль А.С.			Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт. Зміст	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Костерев М.В.					7	90
<i>Н. Контр.</i>		Матєєнко Ю.П.				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
<i>Затв.</i>		Будько В.І.				Каф. ВДЕ гр. ЕТ-71		

2.2.2. Вибір вимикача та роз'єднувача на лінії місцевого навантаження....	49
2.3. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ГРП 10.5 кВ та РП 110 кВ.....	57
2.3.1. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ГРП 10.5 кВ.....	57
2.3.2. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ВРП 110 кВ.....	61
Висновок до другого розділу	66
3. Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм КЗ.....	67
3.1. Рівняння Горева-Парка.....	68
3.2. КЗ синхронної машини без демпферних обмоток.....	69
3.3. Складові струму КЗ.....	78
3.4. Визначення струму КЗ на шинах 330 кВ без регулятора збудження генератора.....	81
3.5. Визначення струму КЗ за наявності регулятора збудження.....	85
Висновок до третього розділу	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	87
Список використаної літератури.....	88

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕС – електрична станція;
КЗ (к. з.) – коротке замикання;
ВП – власні потреби;
ТВП – трансформатор власних потреб;
РТВП – резервний трансформатор власних потреб;
ТЕЦ – теплова електрична станція;
ШЗВ – шиноз'єднувальний вимикач;
ОВ – обхідний вимикач;
Г – генератор;
С – система;
Т – трансформатор;
АТ – автотрансформатор;
ЛЕП – лінії електропередач;
РПН – регулювання під навантаженням;
РУ – розподільча установка;
СР – секційний реактор;
ВРП – відкритий розподільчий пристрій;
ГРП – генераторний розподільчий пристрій;
ВН – вища напруга;
СН – середня напруга;
НН – нижча напруга;
ВРУ – відкрита розподільча установка;
ПЛ – повітряна лінія.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Теплова електрична станція – це станція, що виробляє електричну енергію за рахунок перетворення хімічної енергії палива в механічну енергію обертання ротора генератора.

Широке застосування електричної енергії пояснюється відносною простотою її виробництва, передачі та розподілу, а також легкістю перетворення в інші види енергії (механічну, теплову, хімічну тощо).

До основних переваг теплових електричних станцій (ТЕС) варто віднести:

1. Паливо, що використовується в якості первинного, є відносно дешевим.
2. Спорудження ТЕС вимагає менших капітальних витрат, у порівнянні з спорудженням інших електричних станцій (АЕС, ГЕС).
3. ТЕС можуть бути побудовані у будь-якому місці, незалежно від наявності поряд джерела палива. Паливо може бути доставлено залізничним або автомобільним транспортом.
4. Виробничий майданчик ТЕС займає значно менше місця, ніж у ГЕС (ГАЕС).

До основних недоліків ТЕС варто віднести:

1. ТЕС забруднюють атмосферу, викидаючи у повітря велику кількість диму і сажі.
2. ТЕС мають більш високі експлуатаційні витрати, ніж ГЕС (ГАЕС).

Економічні показники ТЕС значно підвищуються, якщо поряд з виробництвом електричної енергії виробляти теплову енергію, необхідну для технологічних потреб промисловості та побуту. Для цього споруджують спеціальні типи ТЕС – теплоелектроцентралі (ТЕЦ).

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розділ 1

Вибір головної схеми електричних з'єднань станції

					141.ЕТ-7106.004.БР			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Коваль А.С.				Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт. Розділ 1	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Костерев М.В.						11	90
<i>Н. Контр.</i>	Матєєнко Ю.П.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВДЕ гр. ЕТ-71		
<i>Затв.</i>	Будько В.І.							

1.1. Вибір структурних схем електричної станції

Електрична частина електростанції включає в себе зв'язані між собою головну схему електричних з'єднань електростанцій і схему власних потреб, яка впливає на такі показники електростанції: економічність, надійсь, ремонтпридатність і тд. Генератори електричної станції нерозривно пов'язані з енергосистемою через трансформатори, що підвищують та ЛЕП.

Головна схема електричних з'єднань проекрованої електричної станції повинна в сукупності мати якість для безперебійного живлення споживачів, безпеку обслуговування та економічність установки.

Від якості успадкування залежить надійність роботи схеми. Гнучкість схеми визначає можливість проводити різні перемикання для ревізії або ремонту окремого успадкування без перерви живлення споживачів. Схему необхідно спроектувати так, щоб отримати оптимальний варіант по надійності, гнучкості та вартості.

Електрична потужність, що генерується на ТЕЦ, розподіляється на трьох напругах: $U_1 = 330$ кВ, $U_2 = 110$ кВ та $U_3 = 10.5$ кВ. Шини 10.5 кВ і 110 кВ зв'язані між собою через 2 трансформатори зв'язку, а шини 110 кВ і 330 кВ зв'язані через автотрансформатори. У разі дефіциту потужності в одній з систем, потужність у неї перетікає з іншої системи через автотрансформатор.

Структурні схеми 3х варіантів дані на рис.1.1, рис. 1.2 і рис.1.3 де показані генератори Г, розподільчі установки вищої напруги РП і генераторної ГРП, місцеве навантаження Рмн, трансформатори зв'язку Т1 і Т2, блокові трансформатори Т3, Т4, Т5, Т6 а також автотрансформатори АТ1 та АТ2.

У першому варіанті два генератора по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, три генератори 100 МВт – до РП 110 кВ за блоковим принципом та один генератор 300 МВт приєднаний до РП 330 кВ за блоковим принципом.

У другому варіанті два генератора по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, два генератори 100 МВт приєднані до РП 110 кВ за блоковим принципом,

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

один генератор 100 МВт приєднаний до РП 330 кВ за блоковим принципом та один генератор 300 МВт приєднаний до РП 330 кВ за блоковим принципом.

У третьому варіанті два генератора по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, один генератор 100 МВт приєднаний до РП 110 кВ за блоковим принципом, два генератори 100 МВт та один генератори 300 МВт приєднані до РП 330 кВ за блоковим принципом.

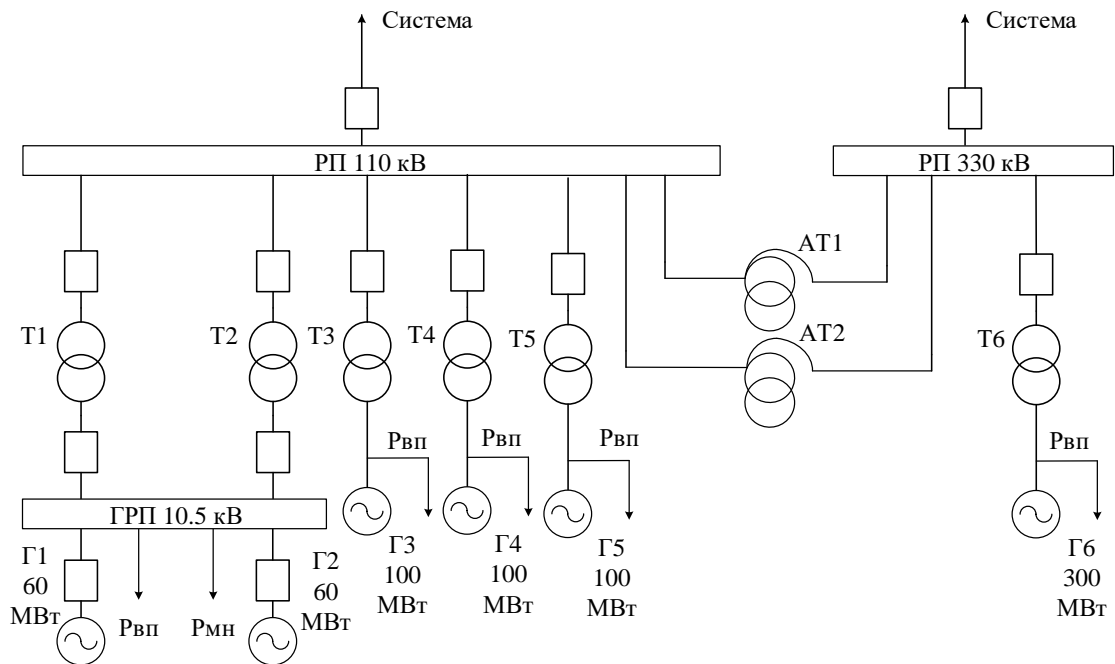


Рис. 1.1 Структурна схема (варіант 1)

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

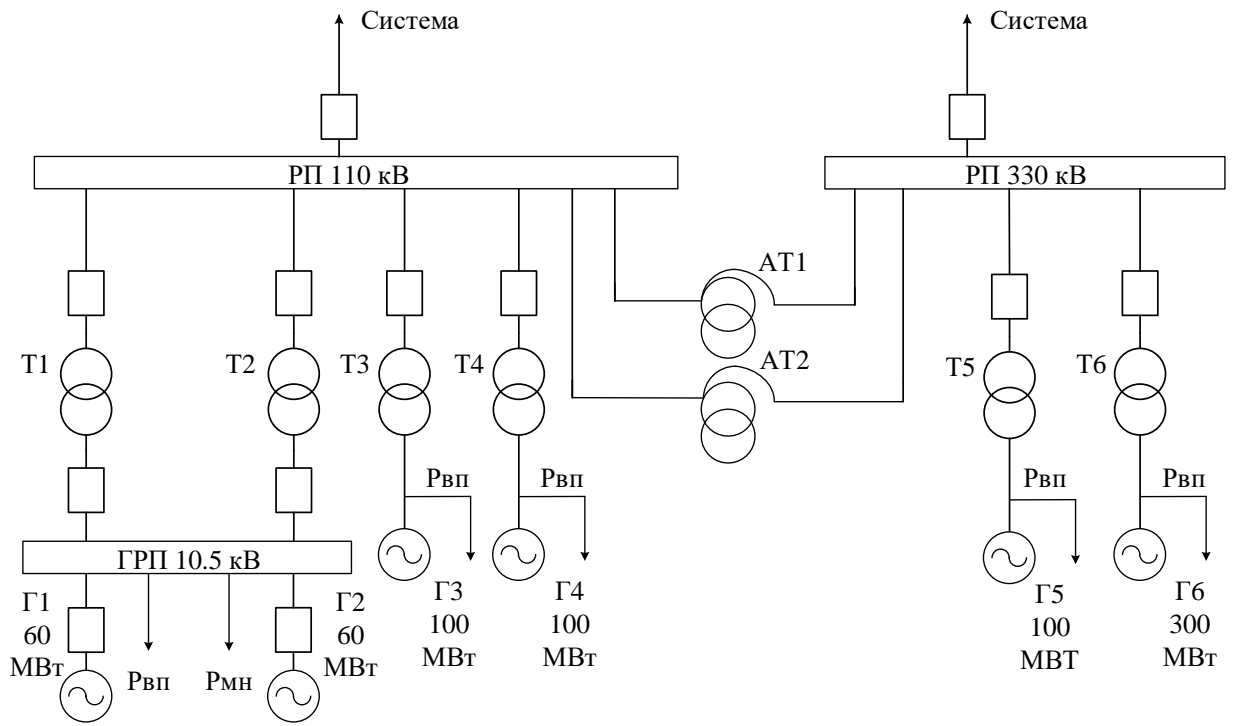


Рис. 1.2 Структурна схема (варіант 2)

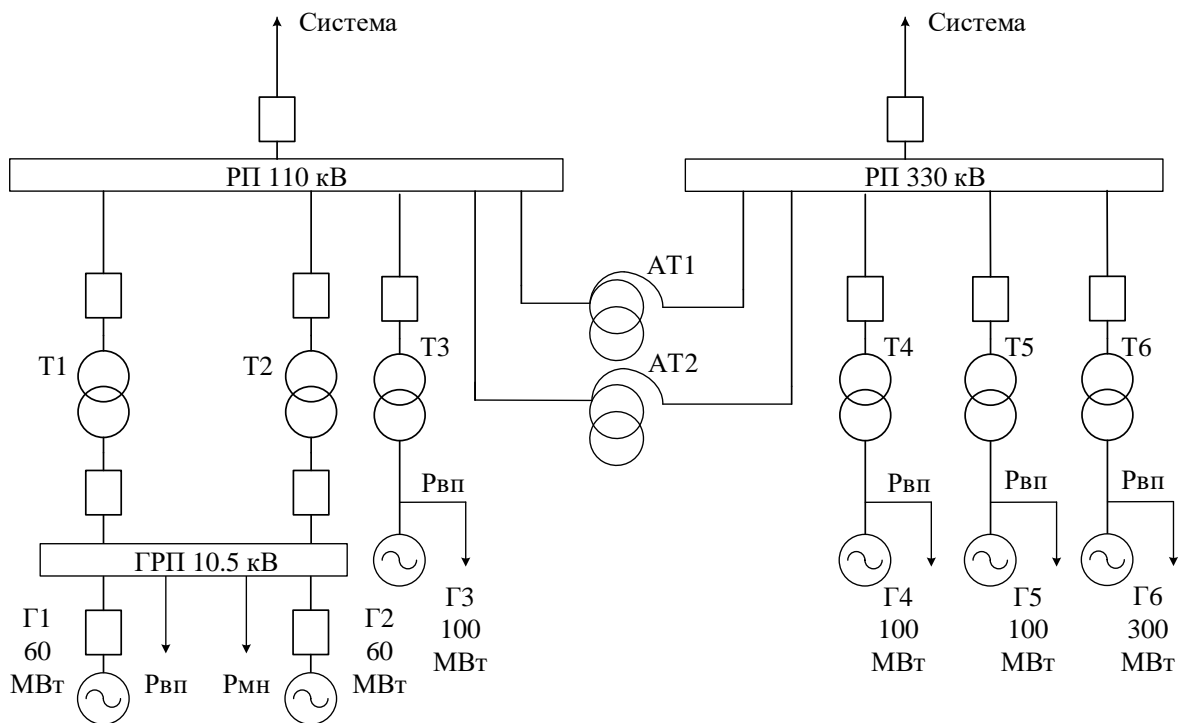


Рис. 1.3 Структурна схема (варіант 3)

1.2. Вибір електрообладнання ТЕЦ

1.2.1. Вибір турбогенераторів

Для покриття встановленої потужності яка згідно завданню складає 720 МВт з якої на ГРП 10.5 кВ розподіляється 120 МВт, а на ВРП 110 кВ та 330 кВ - 600 МВт, які покриватимуться 4ма генераторами (з потужностями 100+100+100+300 МВт). Тому необхідно встановити:

- на ГРП 10.5 кВ 2 генератора потужністю 60 МВт
- на ВРП 110 кВ та ВРП 330 кВ 3 генератори за блоковим принципом потужністю 100 МВт та 1 генератор за блоковим принципом потужністю 300 МВт.

Тому вибираємо два генератора типу **ТВФ-63-2У3**. Для роботи в блоці вибираємо три генератора типу **ТВФ-120-2У3** та один генератор типу **ТГВ-300-2УУ3**, основні параметри яких представлені в Табл. 1.1:

Таблиця 1.1- Технічні характеристики турбогенераторів

№ п/п	Параметри	ТВФ-63-2У3	ТВФ-120-2У3	ТГВ-300-2УУ3
1	$n_{\text{НОМ}}$, об/хв	3000	3000	3000
2	$S_{\text{НОМ}}$, МВ · А	78.75	125	353
3	$P_{\text{НОМ}}$, МВт	60	100	300
4	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	10.5	10.5	20
5	$\cos(\varphi)_{\text{НОМ}}$	0.8	0.8	0.85
6	I, кА	4.33	6.875	10.2
7	Схема обмоток статора	У	У У	У У
8	x_d'' , об/хв	0.153	0.192	0.195
9	Ціна, тис. грн.	268	350	900

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

1.2.2. Вибір трансформаторів зв'язку

Керуючись такими положеннями вибираємо трансформатори зв'язку :

1) Трансформатори зв'язку повинні забезпечити видачу всієї активної потужності генераторів встановлених на ГРП 10.5 за вирахування навантаження електроприймачів власних потреб 6 кВ та 0.4 кВ та місцевого навантаження на ГРП 10.5 кВ в період мінімуму навантаження.

2) При відключенні одного з генераторів на ГРП 10.5 кВ трансформатори зв'язку повинні створити симетричну схему для зменшення перетоків потужності.

3) При плановому або аварійному відключенні одного генератора на ГРП 10.5 кВ трансформатори зв'язку повинні створити умови для резервного живлення електроприймачів 6-10 кВ.

4) Видача всієї надлишкової потужності на ВРП 110 кВ при роботі всіх генераторів на ГРП 10.5 кВ.

5) Трансформатори зв'язку повинні мати РПН

Виходячи з цих положень приймає для встановлення на ГРП 2х трансформаторів зв'язкуз РПН.

Визначаємо потужність яка передається через трансформатори зв'язку в трьох режимах:

- 1) в режимі мінімального навантаження
- 2) в режимі максимального навантаження
- 3) в аварійному режимі(вихід з ладу найпотужнішого генератора)

При розрахунках приймемо навантаження (ВП) 10% від генерації на збірних шинах (120 МВт). Вибір трансформаторів зв'язку виконаємо в табличній формі. Розраховані дані зведені в Табл. 1.2:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.2- Перетоки потужності через трансформатори зв'язку

	Навантаження в різних режимах, МВт		
	Макс.	Мін.	Авар.
Виробництво	120	120	60
Власні потреби	12	12	12
Місц. навантаж.	75,4	52,78	75,4
Переток	32.6	55.22	-27.4

По найбільшому розрахунковому навантаженню визначаємо потужність кожного трансформатора:

$$S_{\text{розрах}} = \frac{P_{\text{макс.перет.}}}{2 \cdot \cos(\varphi_{\text{ном}})} = \frac{55.22}{2 \cdot 0.85} = 32.482 \text{ (МВА)}$$

Вибираємо два трансформатора зв'язку з РПН типу **ТДН-40000/110** з наступними параметрами які приведені в Табл.1.3:

Таблиця 1.3- Технічні характеристики трансформатора зв'язку

$S_{\text{н}}$, МВА	$U_{\text{к}}$, %	$I_{\text{хх}}$, %	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ	$\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	Ціна, тис. грн.
40	10.5	0.55	115	10.5	34	170	48

Для 1-го, 2-го варіантів вибираємо однакові трансформатори зв'язку

1.2.3. Вибір блочних трансформаторів

Враховуючи те, що на власні потреби ТЕЦ йде 10% від потужності блоку, потужність апаратів буде рівна:

- для блоку 100 МВт

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$P_{CH} = 0.1 \cdot P_{bl} = 0.1 \cdot 100 = 10 \text{ (МВт)}$$

- для блоку 300 МВт

$$P_{CH} = 0.1 \cdot P_{bl} = 0.1 \cdot 300 = 30 \text{ (МВт)}$$

Активна потужність, що передається трансформатором, складе:

- для блоку 100 МВт

$$P_{пр} = P_{bl} - P_{CH} = 100 - 10 = 90 \text{ (МВт)}$$

- для блоку 300 МВт

$$P_{пр} = P_{bl} - P_{CH} = 300 - 30 = 270 \text{ (МВт)}$$

Повна потужність трансформатора складає:

- для блоку 100 МВт

$$S_{тр} = \frac{P_{пр}}{\cos(\varphi)} = \frac{90}{0.85} = 105.882 \text{ (МВт)}$$

- для блоку 300 МВт

$$S_{тр} = \frac{P_{пр}}{\cos(\varphi)} = \frac{270}{0.85} = 317.647 \text{ (МВт)}$$

Вибираємо трансформатори типу **ТДЦ- 125000/110, ТДЦ- 125000/330** та **ТДЦ-400000/330**. Паспортні дані яких приведені в Табл. 1.4.

За 1 варіантом буде встановлено три трансформатори типу **ТДЦ- 125000/110** і один типу **ТДЦ-400000/330**, за 2 варіантом — два **ТДЦ-125000/110** і один типу **ТДЦ-400000/330**, за 3 варіантом – один трансформатор типу **ТДЦ- 125000/110**, один **ТДЦ-400000/330** і два типу **ТДЦ-125000/330**.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

Таблиця 1.4 - Технічні характеристики блочних трансформаторів

Тип трансформатора	S_N , МВА	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_{K3} , кВт	$U_{K(VH)}$, %	Група з'єднань	Ціна, тис. грн.
ТДЦ-125000/110	125	120	400	10.5	УН/D-11	140
ТДЦ-125000/330	125	120	380	11	УН/D-11	186
ТДЦ-400000/330	400	330	880	11	УН/D-11	389

1.2.4. Вибір автотрансформаторів зв'язку

Вибір автотрансформаторів здійснюється по перетоку потужності через них в різних можливих режимах роботи:

- режим максимального навантаження шин 10 та 110 кВ;
- режим мінімального навантаження шин 10 та 110 кВ;
- аварійний режим (вихід з ладу 1 турбогенератора на напрузі 10 чи 110 кВ).

Для першого варіанту:

Режим максимального навантаження:

$$S_{\text{макс}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{Нав}}} = \frac{420}{0.8} - \frac{87.4 + 75.4 + 42}{0.85} = 284.059 \text{ (МВт)}$$

Режим мінімального навантаження:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{Нав}}} = \frac{420}{0.8} - \frac{87.4 + 52.78 + 42}{0.85} = 310.671 \text{ (МВт)}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{Нав}}} = \frac{320}{0.8} - \frac{87.4 + 75.4 + 42}{0.85} = 159.059 \text{ (МВт)}$$

Для першого варіанту по найбільшому перетоку потужності, в режимі мінімального навантаження, який складає 310.671 (МВт) Вибираємо автотрансформатор зв'язку типу **АТДЦТН-400000/330/110** з параметрами які занесені до Табл.1.5:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.5 -Технічні характеристики автотрансформатора зв'язку

$S_{\text{НОМ}}$ МВа	$U_{\text{ВН}}$ кВ	$U_{\text{СН}}$ кВ	$U_{\text{НН}}$ кВ	$\Delta P_{\text{ХХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ кВт	$I_{\text{ХХ}}$ %	$U_{\text{К(ВС)}}$ %	$U_{\text{К(ВН)}}$ %	$U_{\text{К(СН)}}$ %	Група з'єднання	Ціна, тис. грн.
400	230	121	20	250	670	0.4	11	24	12	УН/УН/D	570

Для другого варіанту:

Режим максимального навантаження:

$$S_{\text{макс}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos\varphi_{\text{Нав}}} = \frac{320}{0.8} - \frac{87.4 + 75.4 + 32}{0.85} = 170.824 \text{ (МВт)}$$

Режим мінімального навантаження:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos\varphi_{\text{Нав}}} = \frac{320}{0.8} - \frac{87.4 + 52.78 + 32}{0.85} = 197.435 \text{ (МВт)}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos\varphi_{\text{Нав}}} = \frac{220}{0.8} - \frac{87.4 + 75.4 + 32}{0.85} = 45.824 \text{ (МВт)}$$

Для другого варіанту по найбільшому перетоку потужності, в режимі мінімальних навантажень, який складає 197.435 (МВт) Вибираємо автотрансформатор зв'язку типу **АТДЦТН-200000/330/110** з параметрами які занесені до Табл.1.6:

Таблиця 1.6 -Технічні характеристики автотрансформатора зв'язку

$S_{\text{НОМ}}$ МВа	$U_{\text{ВН}}$ кВ	$U_{\text{СН}}$ кВ	$U_{\text{НН}}$ кВ	$\Delta P_{\text{ХХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ кВт	$I_{\text{ХХ}}$ %	$U_{\text{К(ВС)}}$ %	$U_{\text{К(ВН)}}$ %	$U_{\text{К(СН)}}$ %	Група з'єднання	Ціна, тис. грн.
200	230	121	20	120	500	0.40	11	32	20	УН/УН/D	324

Для третього варіанту:

Режим максимального навантаження:

					141.ЕТ-7106.004.БР						Арк.
											20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата							

$$S_{\text{макс}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos\varphi_{\text{Нав}}} = \frac{220}{0.8} - \frac{87.4 + 75.4 + 22}{0.85} = 57.588 \text{ (МВт)}$$

Режим мінімального навантаження:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos\varphi_{\text{Нав}}} = \frac{220}{0.8} - \frac{87.4 + 52.78 + 22}{0.85} = 84.2 \text{ (МВт)}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos\varphi_{\text{Нав}}} = \frac{120}{0.8} - \frac{87.4 + 75.4 + 22}{0.85} = -67.412 \text{ (МВт)}$$

Для третього варіанту по найбільшому перетоку потужності, в аварійному режимі, який складає 84.2 (МВт). Вибираємо автотрансформатор зв'язку типу АТДЦТН-125000/330/110 з параметрами які занесені до Табл.1.7:

Таблиця 1.7 - Технічні характеристики автотрансформатора зв'язку

$S_{\text{НОМ}}$, МВа	$U_{\text{ВН}}$, кВ	$U_{\text{СН}}$, кВ	$U_{\text{НН}}$, кВ	$\Delta P_{\text{ХХ}}$, кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$, кВт	$I_{\text{ХХ}}$, %	$U_{\text{К(ВС)}}$, %	$U_{\text{К(ВН)}}$, %	$U_{\text{К(СН)}}$, %	Група з'єднання	Ціна, тис. грн.
125	230	121	20	65	315	0.4	11	45	28	УН/УН/Д	195

1.2.5. Вибір секційного реактору

Реактор вибирається по струму секції:

$$I_c = 0.6 \cdot \frac{P_c}{\cos(\varphi) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\Gamma}} = 0.6 \cdot \frac{60}{0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 10.5} = 2.329 \text{ (кА)}$$

Вибираємо реактор типу РБГ 10-2500-0.35У1 з номінальними параметрами, які приведені в Табл.1.7:

Таблиця 1.7- Технічні характеристики секційного реактора

$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$I_{\text{ТРІВ}}$, А	$x_{\text{НОМ}}$, Ом	Номінальні втрати на фазу, кВт	$I_{\text{ДИН}}$, кА	$I_{\text{ТЕРМ}}$, кА	$t_{\text{ТЕРМ}}$, С
10	2500	0.35	20,5	37	14.6	8

					141.ЕТ-7106.004.БР				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					21

Для всіх варіантів тип секційного реактора буде однаковим.

1.3. Техніко-економічне порівняння варіантів

Техніко-економічне порівняння варіантів виконаємо в табличній формі.

Час роботи: $t_p = 8760 \left(\frac{\text{ГОД}}{\text{РІК}}\right)$. Час найбільших витрат: $\tau = 3500 \left(\frac{\text{ГОД}}{\text{РІК}}\right)$.

Розраховуємо втрати енергії в трансформаторах:

1 Варіант:

Два трансформатора ТДН-40000/110:

$$\Delta W_{\text{втр}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 34 \cdot 8760 + 2 \cdot 170 \cdot \left(\frac{32.482}{40}\right)^2 \cdot 3500 =$$

= 1.38 (млн. кВт · год)

3 трансформатори ТДЦ-125000/110:

$$\Delta W_{\text{втр}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2 \cdot \tau = 3 \cdot 120 \cdot 8760 + 3 \cdot 400 \cdot \left(\frac{107.5}{125}\right)^2 \cdot 3500 =$$

= 6.26 (млн. кВт · год)

Трансформатор ТДЦ-400000/330:

$$\Delta W_{\text{втр}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2 \cdot \tau = 1 \cdot 330 \cdot 8760 + 1 \cdot 880 \cdot \left(\frac{317.647}{400}\right)^2 \cdot 3500 =$$

= 4.833 (млн. кВт · год)

Два автотрансформатора АТДЦТН-4000000/330/110:

$$\Delta W_{\text{втр}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 250 \cdot 8760 + 2 \cdot 670 \cdot \left(\frac{310.671}{400}\right)^2 \cdot 3500 =$$

= 7.209 (млн. кВт · год)

2 Варіант:

Два трансформатора ТДН-40000/110:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Втрати аналогічні першому варіанту.

2 трансформатори ТДЦ-125000/110:

$$\Delta W_{\text{втрат}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 120 \cdot 8760 + 2 \cdot 400 \cdot \left(\frac{107.5}{125} \right)^2 \cdot 3500 =$$
$$= 4.173 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}$$

Трансформатор ТДЦ-125000/330:

$$\Delta W_{\text{втрат}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau = 1 \cdot 120 \cdot 8760 + 1 \cdot 380 \cdot \left(\frac{107.5}{125} \right)^2 \cdot 3500 =$$
$$= 2.035 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}$$

Трансформатор ТДЦ-400000/330:

Втрати аналогічні першому варіанту.

Два автотрансформатора АТДЦТН-200000/330/110:

$$\Delta W_{\text{втрат}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 120 \cdot 8760 + 2 \cdot 700 \cdot \left(\frac{197.435}{200} \right)^2 \cdot 3500 =$$
$$= 6.878 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}$$

3 Варіант:

Два трансформатора ТДН-40000/110:

Втрати аналогічні першому варіанту.

Трансформатор ТДЦ-125000/110:

$$\Delta W_{\text{втрат}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau = 1 \cdot 120 \cdot 8760 + 1 \cdot 400 \cdot \left(\frac{107.5}{125} \right)^2 \cdot 3500 =$$
$$= 2.087 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}$$

2 трансформатор ТДЦ-125000/330:

$$\Delta W_{\text{втрат}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 120 \cdot 8760 + 2 \cdot 380 \cdot \left(\frac{107.5}{125} \right)^2 \cdot 3500 =$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

= 4.07 (млн. кВт · год)

2 трансформатори ТДЦ-400000/330:

Втрати аналогічні другому варіанту.

Два автотрансформатора АТДЦТН-125000/330/110:

$$\Delta W_{\text{втр}} = n \cdot \Delta P_{\text{ХХ}} \cdot 8760 + n \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 65 \cdot 8760 + 2 \cdot 315 \cdot \left(\frac{84.2}{125} \right)^2 \cdot 3500 =$$

= 2.139 (млн. кВт · год)

Техніко-економічне порівняння варіантів виконується в табличній формі.

Таблиця **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..** 1 Втрати енергії в трансформаторах

№	Назва обладнання	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
		Втрати (млн. кВт. Год)	Втрати (млн. кВт. Год)	Втрати (млн. кВт. Год)
1	ТДН-40000/110	1.38	1.38	1.38
2	ТДЦ-125000/110	6.26	4.173	2.087
3	ТДЦ-125000/330	—	2.035	4.07
5	ТДЦ-400000/330	4.833	4.833	4.833
6	АТДЦТН-400000/330/110	7.209	—	—
7	АТДЦТН-200000/330/110	—	6.878	—
8	АТДЦТН-125000/330/110	—	—	2.139
Σ		26.891	19.299	14.509

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Складається порівняльна таблиця вартості варіантів

Таблиця **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**2 Порівняльна таблиця вартості варіантів

№	Назва обладнання	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
		Вартість тис.грн.	Вартість тис.грн	Вартість тис.грн
1	ТДН-40000/110	48	48	48
2	ТДЦ-125000/110	420	280	140
3	ТДЦ-125000/330	—	186	372
4	ТДЦ-400000/330	389	389	389
5	АТДЦТН-400000/330/110	570	—	—
6	АТДЦТН-125000/330/110	—	—	195
7	АТДЦТН-200000/330/110	—	324	—
Σ		1427	1227	1144

Розрахунок щорічних витрат тис.грн.

Витрати, обумовлені втратами енергії даного варіанта:

$$B_{\text{втр}} = \beta \cdot W_{\text{втр}}$$

Де β – питомі витрати на відшкодування втрат – вартість 1 кВт · год втраченої енергії, на 2021 рік приймемо, що вартість електроенергії дорівнює 1,5 грн за 1 кВт · год.

$$B_{\text{втр1}} = 1,5 \cdot 26.891 = 40.337 \text{ млн. грн}$$

$$B_{\text{втр2}} = 1,5 \cdot 19.299 = 28.948 \text{ млн. грн}$$

$$B_{\text{втр2}} = 1,5 \cdot 14.509 = 21.764 \text{ млн грн}$$

Економічно вигіднішим є 3й варіант, питомі втрати в 3му варіанті менші, тому для подальших розрахунків станції вибираю 3й варіант схеми.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.4. Вибір схем електричних з'єднань розподільчих пристроїв

1.4.1. Вибір електричної схеми ВРП 330 кВ

На ВРП 330 кВ використовуємо схему з трьома вимикачами на два приєднання. Схема з трьома вимикачами на два приєднання має такі переваги:

- 1) Ремонт та обслуговування будь-якого вимикача проводиться без перерви живлення та з мінімальною кількістю комутаційних операцій при виведенні в ремонт елементів схеми
- 2) Роз'єднувачі використовується лише при ремонті та обслуговуванні елементів схеми (для створення видимого розриву)
- 3) При виникненні аварії відключення обидвох систем шин не призведе до порушення електропостачання споживача
- 4) В схемі 3/2 поєднується переваги схеми зі збірними шинами та схеми багатокутника.

До недоліків схеми 3/2 можна віднести:

- 1) Комутацій операції при відключенні к.з. виконується двома вимикачами
- 2) Складність кол релейного захисту та автоматики
- 3) Велика кількість вимикачів
- 4) Кількість вимикачів не дорівнює кількості приєднань

1.4.2. Вибір електричної схеми ВРП 110 кВ

На ВРП 110 кВ застосовуємо схему з двома системами збірних шин і обхідною системою шин при одному вимикачі на приєднання. Схема з двома системами збірних шин і обхідною системою шин має такі переваги:

- 1) В даній схемі на одне приєднання застосовується один вимикач
- 2) Можливість почергового ремонту обладнання без перерви живлення
- 3) Поділ системи на дві частини для підвищення надійності електропостачання споживачів або для обмеження струмів к.з.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4) Можливість оперативних переключень в залежності від режиму установки

До недоліків схеми двома системами збірних шин і обхідною системою шин можна віднести:

- 1) 2 вимикача не відносяться до приєднань (ЩЗВ та ОВ)
- 2) Роз'єднувач використовується для оперативних перемикачів
- 3) Схема дуже складна при великій кількості приєднань
- 4) При використанні ШЗВ обидві системи шин виходять з роботи

1.4.3. Вибір електричної схеми ГРП 10.5 кВ

На ГРП 10.5 кВ застосовуємо схему подвійну секціоновану систему збірних шин. Дана схема дозволяє при відключенні однієї з секцій збірних шин не приведе до відключення найважливіших споживачів. При збільшенні кількості споживачів не виконується значні зміни в схемі та монтажні або

будівельні роботи. До переваг можна віднести:

- 1) Ремонт будь-якої системи шин не призводить до відключення споживачів від живлення
- 2) Завдяки наявності в схемі ШЗВ оперативні перемикачів в схемі не призводять до відключення від живлення відповідальних споживачів (споживачі 1 групи згідно ПУЕ)
- 3) Споживачі втрачають живлення лише на час оперативних переключень на резервну систему шин персоналом

До недоліків можна віднести:

- 1) Велика кількість усадкування таких як роз'єднувачі, ізолятори, струмоведучі частин та вимикачів
- 2) Складна конструкція РП порівняно з одинарною секціонованою системою шин
- 3) Оперативні перемикачів робляться з допомогою роз'єднувачів

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.4.4. Вибір електричної схеми електропостачання ВП

Систему власних потреб (ВП) електричної станції складають – робочі машини з приводними електродвигунами, допоміжне обладнання, відповідальна система управління, незалежні джерела енергії, приймачі електроенергії, розподільчі пристрої. Все це обладнання створює умови для економічного та надійного функціонування електричної станції.

Для живлення приймачів ВП приймаємо два рівня напруги:

$U_1 = 6 \text{ кВ}$ – для живлення двигунів потужність $P \geq 200 \text{ кВт}$

$U_2 = 0.4 \text{ кВ}$ – для живлення інших двигунів, освітлення і інших приймачів ВП

Розподільчі пристрої ВП виконуємо однією секціонованою системою шин з одним вимикачем на приєднання.

На ГРП 10.5 кВ електроприймачі ВП одержують живління безпосередньо від шин ГРП через трансформатор що понижує. На РП 110 кВ та 330 кВ живління електроприймачі ВП здійснюється відпайкою від блоку.

Резервне живління електроприймачів ВП 1 категорії та 2 категорії (згідно ПУЕ) забезпечуємо шляхов встановлення резервних ТВП до шин 110 кВ та через резервний АТ до шин 330 кВ.

Електроприймачі ВП 0.4 кВ приєднуються до секції 0.4 кВ, яка отримує живління від трансформаторів що понижують другого ступеня. Трансформатори другого ступеня встановлюються поблизу розміщення груп електроприймачів.

Збірні шини 0.4 кВ секціонуються для підвищення надійності живління електроприймачів ВП. Тому найбільш відповідальні споживачі отримують живління не тільки від РТВП, але і від дизель-генератора.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Висновки до першого розділу:

В даному розділі бакалаврської роботи було проведено техніко-економічне порівняння варіантів головної схеми електричних з'єднань електричної станції.

Для кожного з варіантів було здійснено вибір турбогенераторів, вибір трансформаторів зв'язку, вибір блочних трансформаторів, вибір автотрансформаторів зв'язку, вибір секційного реактору та лінійного реактору.

Серед варіантів, що розглядалися, шляхом співставлення розмірів розрахункових затрат було обрано найбільш економічно вигідний варіант, тобто другий. Проведено вибір електричної схеми розподільчих пристроїв ВРП-110, ВРП-330 та ГРП. Прийнято подвійну систему шин з обхідною для ВРП-110, для ВРП-330 обрано схему "3/2" і подвійну систему шин для ГРП.

Вибрані трансформатори В.П., в.т.ч. резервні, що можуть забезпечити живлення В.П. із системи.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						29
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

Розділ 2

Розрахунок струмів короткого замикання, вибір та перевірка комутаційного обладнання

					141.ЕТ-7106.004.БР			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Коваль А.С.			Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт. Розділ 2	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Костерев М.В.					31	90
<i>Н. Контр.</i>		Матесенко Ю.П.				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
<i>Затв.</i>		Будько В.І.				Каф. ВДЕ гр. ЕТ-71		

2.1.1. Визначення опорів системи

За розрахунковою схемою (рис.2.1) складаємо заступну схему (рис. 2.2), замінюючи електромагнітні зв'язки електричними. Генератори вводимо в схему заміщення як ЕРС з опором, інші елементи як опори. Розрахунок струмів КЗ будемо вести у відносних одиницях.

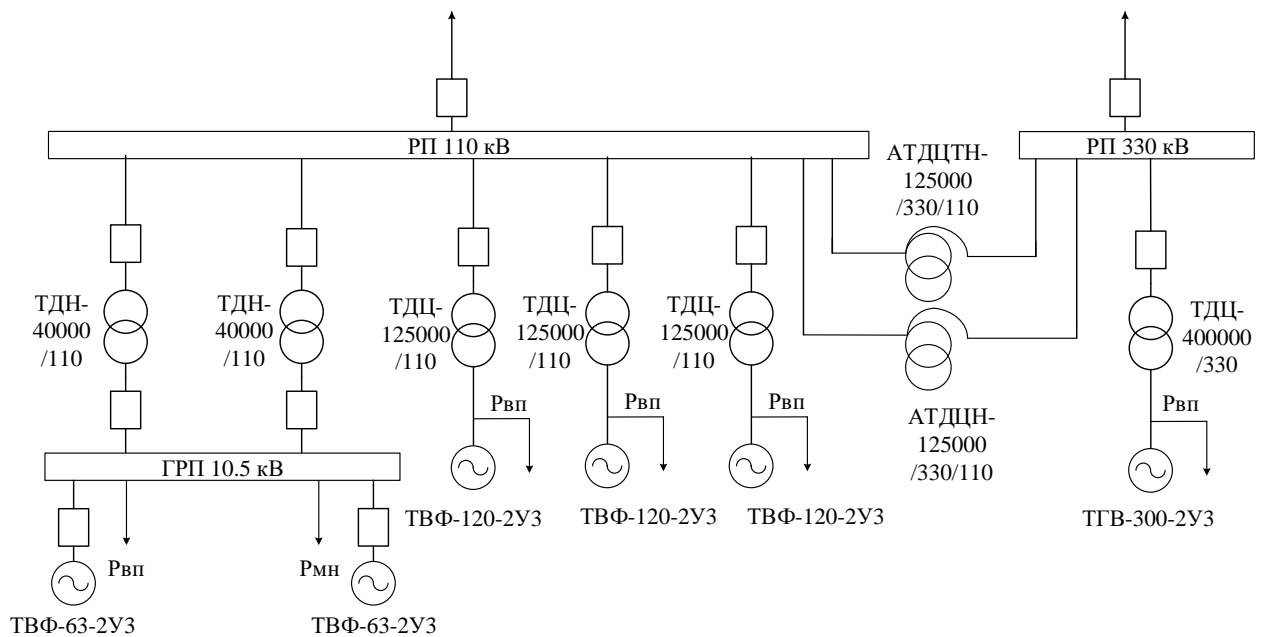


Рис.2.1 Розрахункова схема ТЕЦ

За базисну потужність прийемо $S_{\sigma} = 78.75 \text{ МВА}$. За базисну напругу візьмо $U_{\sigma} = 10.5 \text{ кВ}$.

Опори генераторів:

$$\bar{X}_{\Gamma 1*} = \bar{X}_{\Gamma 2*} = \frac{X_{d\%}''}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_{H.\Gamma.}} = \frac{15.3}{100} \cdot \frac{78.75}{78.75} = 0.153 (в.о)$$

$$\bar{X}_{\Gamma 3*} = \bar{X}_{\Gamma 4*} = \frac{X_{d\%}''}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_{H.\Gamma.}} = \frac{19.2}{100} \cdot \frac{78.75}{125} = 0.121 (в.о)$$

$$\bar{X}_{\Gamma 5*} = \frac{X_{d\%}''}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_{H.\Gamma.}} = \frac{19.5}{100} \cdot \frac{78.75}{353} = 0.044 (в.о)$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

$$X_1 = \frac{X_{r1} \cdot X_{r2}}{X_{r1} + X_{r1} + X_{p1}} = \frac{0.153 \cdot 0.153}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.04 \text{ (в. о.)}$$

$$X_2 = \frac{X_{r2} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{r1} + X_{p1}} = \frac{0.153 \cdot 0.276}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.073 \text{ (в. о.)}$$

$$X_3 = \frac{X_{r1} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{r1} + X_{p1}} = \frac{0.153 \cdot 0.276}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.073 \text{ (в. о.)}$$

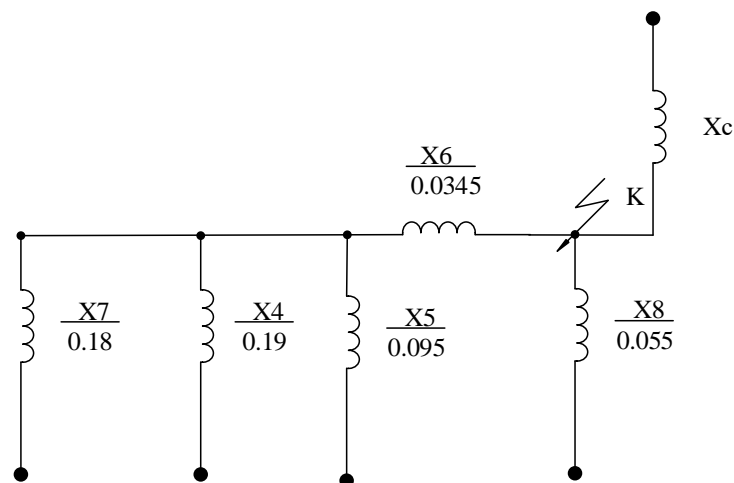
$$X_4 = X_{r3} + X_{T3} = 0.069 + 0.121 = 0.19 \text{ (в. о.)}$$

$$X_5 = \frac{(X_{r4} + X_{T4}) \cdot (X_{r5} + X_{T5})}{X_{r4} + X_{T4} + X_{r5} + X_{T5}} = \frac{(0.069 + 0.121) \cdot (0.069 + 0.121)}{0.069 + 0.121 + 0.069 + 0.121} = 0.095 \text{ (в. о.)}$$

$$X_6 = \frac{X_{AT1}}{2} = \frac{0.069}{2} = 0.0345 \text{ (в. о.)}$$

$$X_7 = X_1 + \frac{(X_2 + X_{T2}) \cdot (X_1 + X_{T1})}{X_2 + X_{T2} + X_1 + X_{T1}} = 0.04 + \frac{(0.073 + 0.207) \cdot (0.073 + 0.207)}{0.073 + 0.207 + 0.073 + 0.207} = 0.18 \text{ (в. о.)}$$

$$X_8 = X_{r6} + X_{T6} = 0.022 + 0.033 = 0.055 \text{ (в. о.)}$$



$$X_9 = \frac{X_7 \cdot X_4}{X_7 + X_4} = \frac{0.18 \cdot 0.19}{0.18 + 0.19} = 0.092 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

$$X_{10} = \frac{X_9 \cdot X_5}{X_9 + X_5} + X_6 = \frac{0.092 \cdot 0.095}{0.092 + 0.095} + 0.0345 = 0.081 \text{ (в. о.)}$$

$$X_e = \frac{X_8 \cdot X_{10}}{X_8 + X_{10}} = \frac{0.081 \cdot 0.055}{0.081 + 0.055} = 0.033 \text{ (в. о.)}$$

Розрахунок опору системи:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78.75 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 10^3} = 4.33 \text{ (кА)}$$

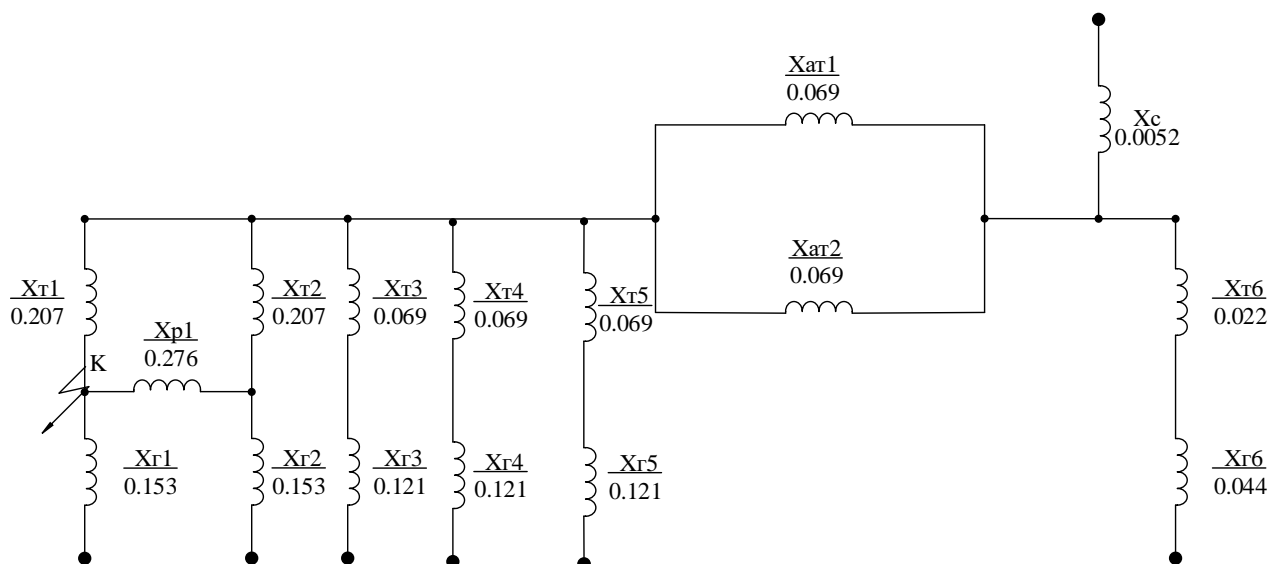
$$I_{\text{к.з.}(сист)} = \frac{U_{330}}{U_6} \cdot I_{\text{к.з.}(сист)} = \frac{330}{10.5} \cdot 30.4 = 955.429 \text{ кА}$$

$$X_E = \frac{I_6}{I_{\text{к.з.}(сист)}} = \frac{4.33}{955.429} = 0.0045 \text{ в. о.}$$

$$X_{\text{сист}} = \frac{X_E \cdot X_{CT}}{X_{CT} - X_E} = \frac{0.0045 \cdot 0.033}{0.033 - 0.0045} = 0.0052 \text{ в. о.}$$

2.1.2. Розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10.5 кВ

Згортаємо схему справа наліво відносно точки К₁.



$$X_1 = X_{r3} + X_{t3} = 0.069 + 0.121 = 0.19 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

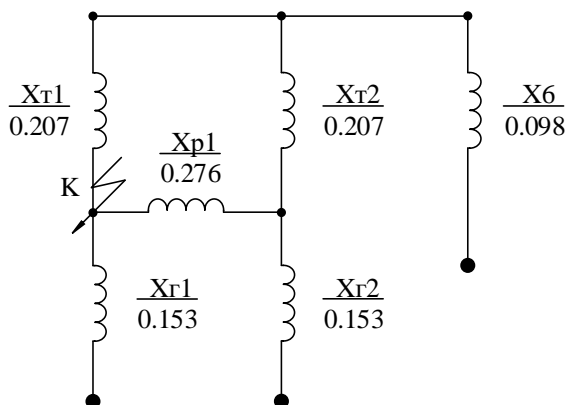
$$X_2 = X_{r6} + X_{T6} = 0.044 + 0.022 = 0.066 \text{ (в. о.)}$$

$$X_3 = \frac{X_{AT1}}{2} = \frac{0.069}{2} = 0.0345 \text{ (в. о.)}$$

$$X_4 = \frac{X_2 \cdot X_c}{X_2 + X_c} + X_3 = \frac{0.066 \cdot 0.0052}{0.066 + 0.0052} + 0.0345 = 0.039 \text{ (в. о.)}$$

$$X_5 = \frac{(X_{r4} + X_{T4}) \cdot (X_{r5} + X_{T5})}{X_{r4} + X_{T4} + X_{r5} + X_{T5}} = \frac{(0.069 + 0.121) \cdot (0.069 + 0.121)}{0.069 + 0.121 + 0.069 + 0.121} = 0.095 \text{ (в. о.)}$$

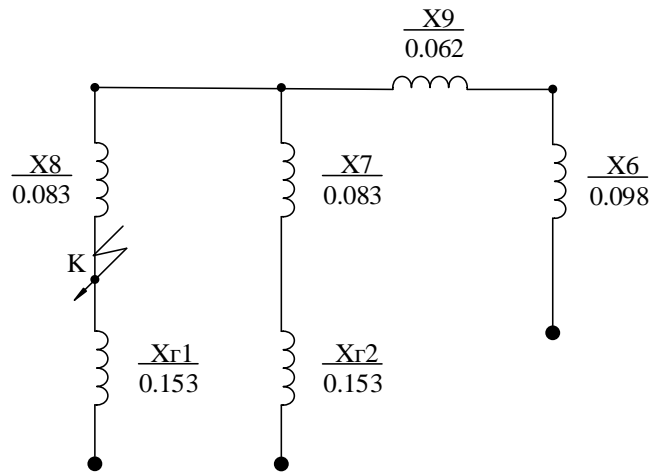
$$X_6 = \frac{X_1 \cdot X_5}{X_1 + X_5} + X_4 = \frac{0.19 \cdot 0.095}{0.19 + 0.095} + 0.039 = 0.098 \text{ (в. о.)}$$



$$X_7 = \frac{X_{r1} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{p1} + X_{r2}} = \frac{0.207 \cdot 0.276}{0.207 + 0.276 + 0.207} = 0.083 \text{ (в. о.)}$$

$$X_8 = \frac{X_{r1} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{p1} + X_{r2}} = \frac{0.207 \cdot 0.276}{0.207 + 0.276 + 0.207} = 0.083 \text{ (в. о.)}$$

$$X_9 = \frac{X_{r1} \cdot X_{r2}}{X_{r1} + X_{p1} + X_{r2}} = \frac{0.207 \cdot 0.207}{0.207 + 0.276 + 0.207} = 0.062 \text{ (в. о.)}$$



$$X_{10} = \frac{(X_9 + X_6) \cdot (X_8 + X_{r2})}{X_9 + X_6 + X_8 + X_{r2}} + X_7 = \frac{(0.062 + 0.098) \cdot (0.083 + 0.153)}{0.062 + 0.098 + 0.083 + 0.153} + 0.083 = 0.187 \text{ (в. о.)}$$

Знайдемо коефіцієнти струморозподілу по гілкам схеми:

$$C = 1$$

$$C_1 = C \cdot \frac{X_{10}}{X_{r1} + X_{10}} = 1 \cdot \frac{0.187}{0.153 + 0.187} = 0.55 \text{ (в. о.)}$$

$$C_2 = C \cdot \frac{X_{r1}}{X_{r1} + X_{10}} = 1 \cdot \frac{0.153}{0.153 + 0.187} = 0.45 \text{ (в. о.)}$$

$$C_3 = C_2 \cdot \frac{(X_9 + X_6)}{X_9 + X_6 + X_8 + X_{r2}} = 0.45 \cdot \frac{(0.062 + 0.123)}{0.062 + 0.123 + 0.083 + 0.153} = 0.198 \text{ (в. о.)}$$

$$C_4 = C_2 \cdot \frac{(X_8 + X_1)}{X_9 + X_6 + X_8 + X_{r2}} = 0.45 \cdot \frac{(0.083 + 0.153)}{0.062 + 0.123 + 0.083 + 0.153} = 0.252 \text{ (в. о.)}$$

$$C_5 = C_4 \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_4} = 0.252 \cdot \frac{0.19}{0.19 + 0.039} = 0.088 \text{ (в. о.)}$$

$$C_6 = C_4 \cdot \frac{X_4}{X_1 + X_4} = 0.252 \cdot \frac{0.039}{0.19 + 0.039} = 0.055 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Назва променя	№ променя	S _п , МВА	C
Г ₁	1	78.75	0.55
Система	2	78.75	0.079
Г ₂ , Г ₃ , Г ₄ ,	3	556.75	0.371
Сума		714.25	1

Для променів маємо:

1) для променя 1:

номінальний струм променя:

$$I_{н1} = \frac{S_{п1}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78.75}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 4.33(\text{кА})$$

розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.13}} = \frac{X_E \cdot S_{п1}}{C_{п1} \cdot S_6} = \frac{0.084 \cdot 78.75}{0.55 \cdot 78.75} = 0.153$$

розрахунковий опір променя при двофазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.12}} = \frac{2X_E \cdot S_{п1}}{C_{п1} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0.084 \cdot 78.75}{0.55 \cdot 78.75} = 0.306$$

2) для променя 2:

номінальний струм променя:

$$I_{н2} = \frac{S_{п2}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78.75}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 4.33(\text{кА})$$

розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.23}} = \frac{X_E \cdot S_{п2}}{C_{п2} \cdot S_6} = \frac{0.084 \cdot 78.75}{0.079 \cdot 78.75} = 1.063$$

розрахунковий опір променя при двофазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.22}} = \frac{X_E \cdot 2 \cdot S_{п2}}{C_{п2} \cdot S_6} = \frac{0.084 \cdot 2 \cdot 78.75}{0.079 \cdot 78.75} = 2.127$$

3) для променя 3:

номінальний струм променя:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

$$I_{нл3} = \frac{S_{л3}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{556.75}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 30.61(\text{кА})$$

розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.33}} = \frac{X_E \cdot S_{л3}}{C_{л3} \cdot S_6} = \frac{0.084 \cdot 556.75}{0.371 \cdot 78.75} = 1.601$$

розрахунковий опір променя при двофазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.32}} = \frac{X_E \cdot 2 \cdot S_{л3}}{C_{л3} \cdot S_6} = \frac{0.084 \cdot 2 \cdot 556.75}{0.371 \cdot 78.75} = 3.201$$

По розрахункових кривих визначаємо відносне значення періодичної складової струму КЗ кожного з променів схеми, а також відразу обчислюємо значення струмів, що діють, і ударний струм для кожного виду КЗ:

1) Трифазне КЗ, промінь 1 ($m = 1$):

$$I'_{0.0л13} = 6.5$$

$$I'_{0.1л13} = 4.9$$

$$I'_{\infty л13} = 2.7$$

Струми в кА:

$$I_{л13_0.0} = I'_{0.0л13} \cdot m \cdot I_{нл1} = 6.5 \cdot 1 \cdot 4.33 = 28.146(\text{кА})$$

$$I_{л13_0.1} = I'_{0.1л13} \cdot m \cdot I_{нл1} = 4.9 \cdot 1 \cdot 4.33 = 21.218(\text{кА})$$

$$I_{л13_ \infty} = I'_{\infty л13} \cdot m \cdot I_{нл1} = 2.7 \cdot 1 \cdot 4.33 = 11.691(\text{кА})$$

2) Трифазне КЗ, промінь 2:

$$I'_{0.0л23} = I'_{0.1л23} = I'_{\infty л23} = \frac{1}{X_{\text{розрах}}} = \frac{1}{1.063} = 0.941$$

Струми в кА:

$$I_{л23_0.0} = I'_{0.0л23} \cdot m \cdot I_{нл2} = 0.941 \cdot 1 \cdot 4.33 = 4.073(\text{кА})$$

$$I_{л23_0.1} = I'_{0.1л23} \cdot m \cdot I_{нл2} = 0.941 \cdot 4.33 = 4.073(\text{кА})$$

$$I_{л23_ \infty} = I'_{\infty л23} \cdot m \cdot I_{нл2} = 0.941 \cdot 1 \cdot 4.33 = 4.073(\text{кА})$$

3) Трифазне КЗ, промінь 3

$$I'_{0.0л33} = 0.63$$

$$I'_{0.1л33} = 0.59$$

$$I'_{\infty л33} = 0.74$$

Струми в кА:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

$$I_{Л33_0.0} = I'_{0.0Л33} \cdot m \cdot I_{нл3} = 0.63 \cdot 1 \cdot 30.61 = 19.284(\kappa A);$$

$$I_{Л33_0.1} = I'_{0.1Л33} \cdot m \cdot I_{нл3} = 0.59 \cdot 1 \cdot 30.61 = 18.06(\kappa A);$$

$$I_{Л33_∞} = I'_{∞Л33} \cdot m \cdot I_{нл3} = 0.74 \cdot 1 \cdot 30.61 = 22.651(\kappa A);$$

$$\text{Ударний струм: } i_{уд_3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\Sigma 3} \cdot 0.0 = \sqrt{2} \cdot 1.95 \cdot 51.503 = 142.031(\kappa A)$$

4) **Двофазне КЗ**, промінь 1 ($m_2 = \sqrt{3}$):

$$I'_{0.0Л12} = 3.3$$

$$I'_{0.1Л12} = 2.8$$

$$I'_{∞Л12} = 2.4$$

Струми в кА:

$$I_{Л12_0.0} = I'_{0.0Л12} \cdot m_2 \cdot I_{нл1} = 3.4 \cdot \sqrt{3} \cdot 4.33 = 24.75(\kappa A)$$

$$I_{Л12_0.1} = I'_{0.1Л12} \cdot m_2 \cdot I_{нл1} = 2.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 4.33 = 20.999(\kappa A)$$

$$I_{Л12_∞} = I'_{∞Л12} \cdot m_2 \cdot I_{нл1} = 2.4 \cdot \sqrt{3} \cdot 4.33 = 17.999(\kappa A)$$

Двофазне КЗ, промінь 2

$$I'_{0.0Л22} = I'_{0.1Л22} = I'_{∞Л22} = \frac{1}{X_{розр}} = \frac{1}{2.127} = 0.47$$

Струми в кА:

$$I_{Л22_0.0} = I'_{0.0Л22} \cdot m \cdot I_{нл2} = 0.47 \cdot \sqrt{3} \cdot 4.33 = 3.525(\kappa A)$$

$$I_{Л22_0.1} = I'_{0.1Л22} \cdot m \cdot I_{нл2} = 0.47 \cdot \sqrt{3} \cdot 4.33 = 3.525(\kappa A)$$

$$I_{Л22_∞} = I'_{∞Л22} \cdot m \cdot I_{нл2} = 0.47 \cdot \sqrt{3} \cdot 4.33 = 3.525(\kappa A)$$

Двофазне КЗ, промінь 3

$$I'_{0.0Л32} = I'_{0.1Л32} = I'_{∞Л32} = \frac{1}{X_{розр}} = \frac{1}{3.201} = 0.312$$

Струми в кА:

$$I_{Л32_0.0} = I'_{0.0Л32} \cdot m_2 \cdot I_{нл3} = 0.312 \cdot \sqrt{3} \cdot 30.61 = 16.542(\kappa A)$$

$$I_{Л32_0.1} = I'_{0.1Л32} \cdot m_2 \cdot I_{нл3} = 0.312 \cdot \sqrt{3} \cdot 30.61 = 16.542(\kappa A)$$

$$I_{Л32_∞} = I'_{∞Л32} \cdot m_2 \cdot I_{нл3} = 0.312 \cdot \sqrt{3} \cdot 30.61 = 16.542(\kappa A)$$

Результати розрахунків занесемо в таблицю 2.1.:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку струму КЗ на ГРП 10.5 кВ

№ П/П	Міс- це к.з.	Ви- д к.з.	U_6	X_{e1}	X_{e2}	X_{e0}	X_e	Параметри променів				
								№	S_{Π}	C_{Π}	$I_{\Pi\Pi}$	$X_{\text{РОЗР}}$
1	К ₁	(3)	10.5	0.084	–	–	0.084	1	78.75	0.55	4,33	0.153
								2	78.75	0.079	4,33	1.063
								3	556.75	0.371	30,61	1.601
2	К ₁	(2)	10.5	0.084	0.084	–	0.168	1	78.75	0.55	4,33	0.306
								2	78.75	0.079	4,33	2.127
								3	556.75	0.371	30,61	3.201

Продовження таблиці 2.1

№	$m^{()}$	$I_{*0.0}$	$I_{*0.1}$	$I_{*\infty}$	$I_{0.0}, \text{кА}$	$I_{0.1}, \text{кА}$	$I_{\infty}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$
1	1	6,5	4,9	2,7	28,146	21,218	11,691	
2		0.941	0.941	0.941	4.073	4.073	4.073	
3		0.63	0.59	0.74	19.284	18.06	22.651	
-		Сума			51.503	44.575	47.942	
1	$\sqrt{3}$	3,3	2,8	2,4	24,75	20,999	17,999	
2		0.47	0.47	0.47	3.525	3.525	3.525	
3		0.312	0.312	0.312	16.542	16.542	16.542	

2.1.3. Розрахунок струму короткого замикання на РП 110 кВ

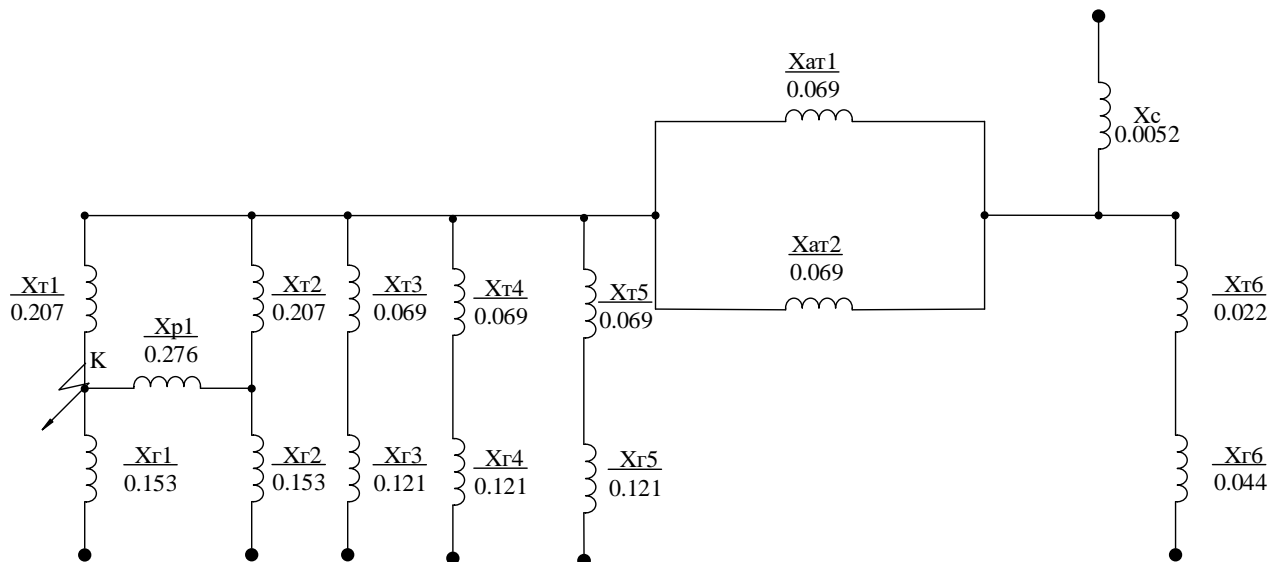
Визначимо опір системи з урахуванням того, що $U_6110 = 110$ кВ. Відносний опір системи, наведений до базисної напруги 110 кВ

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

$$I_{к.з.(сист)} = \frac{U_{330}}{U_6} \cdot I_{к.з.(сист)} = \frac{330}{10,5} \cdot 30,4 = 955.429 \text{ кА}$$

$$X_E = \frac{I_6}{I_{к.з.(сист)}} = \frac{4,33}{955.429} = 0,0045 \text{ в. о.}$$

$$X_{сист} = \frac{X_E \cdot X_{CT}}{X_{CT} - X_E} = \frac{0,0045 \cdot 0,033}{0,033 - 0,0045} = 0,0052 \text{ в. о.}$$



$$X_1 = X_{r3} + X_{T3} = 0.069 + 0.121 = 0.19 \text{ (в. о.)}$$

$$X_2 = X_{r6} + X_{T6} = 0.044 + 0.022 = 0.066 \text{ (в. о.)}$$

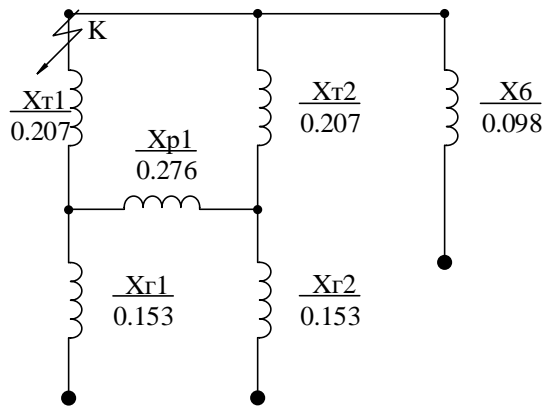
$$X_3 = \frac{X_{AT1}}{2} = \frac{0.069}{2} = 0.0345 \text{ (в. о.)}$$

$$X_4 = \frac{X_2 \cdot X_c}{X_2 + X_c} + X_3 = \frac{0.066 \cdot 0.0052}{0.066 + 0.0052} + 0.0345 = 0.039 \text{ (в. о.)}$$

$$X_5 = \frac{(X_{r4} + X_{T4}) \cdot (X_{r5} + X_{T5})}{X_{r4} + X_{T4} + X_{r5} + X_{T5}} = \frac{(0.069 + 0.121) \cdot (0.069 + 0.121)}{0.069 + 0.121 + 0.069 + 0.121} = 0.095 \text{ (в. о.)}$$

$$X_6 = \frac{X_1 \cdot X_5}{X_1 + X_5} + X_4 = \frac{0.19 \cdot 0.095}{0.19 + 0.095} + 0.039 = 0.098 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43



$$X_7 = \frac{X_{r1} \cdot X_{r2}}{X_{r1} + X_{r2} + X_{p1}} = \frac{0.153 \cdot 0.153}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.04 \text{ (в. о.)}$$

$$X_8 = \frac{X_{r1} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{r2} + X_{p1}} = \frac{0.153 \cdot 0.276}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.073 \text{ (в. о.)}$$

$$X_9 = \frac{X_{r2} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{r2} + X_{p1}} = \frac{0.153 \cdot 0.276}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.073 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{10} = X_{r1} + X_8 = 0.207 + 0.073 = 0.28 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{11} = X_{r2} + X_9 = 0.207 + 0.073 = 0.28 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{12} = \frac{X_{10}}{2} + X_7 = \frac{0.28}{2} + 0.04 = 0.18 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{\text{екв}} = \frac{1}{\frac{1}{X_{12}} + \frac{1}{X_6}} = \frac{1}{\frac{1}{0.18} + \frac{1}{0.098}} = 0.073 \text{ (в. о.)}$$

Розрахуємо струм короткого замикання:

Потужність променя $S_{II} = 714.25 \text{ (МВА)}$

Номинальний струм променя:

$$I_{н110} = \frac{S_{II}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi 110}} = \frac{714.25}{\sqrt{3} \cdot 110} = 3.749 \text{ (кА)}$$

Розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.110}} = X_{\text{екв}} \cdot \frac{S_{II}}{S_B} = 0.073 \cdot \frac{714.25}{78.75} = 0.662 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

1) Для трифазного КЗ по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{0.0л} = 1.65$$

$$I'_{0.1л} = 1.55$$

$$I'_{\infty л} = 1.78$$

Струми в кА:

$$I_{л3_0.0} = I'_{0.0л} \cdot m \cdot I_{нл} = 1.65 \cdot 1 \cdot 3.749 = 6.186 \text{ (кА)};$$

$$I_{л3_0.1} = I'_{0.1л} \cdot m \cdot I_{нл} = 1.55 \cdot 1 \cdot 3.749 = 5.811 \text{ (кА)};$$

$$I_{л3_∞} = I'_{\infty л} \cdot m \cdot I_{нл} = 1.78 \cdot 1 \cdot 3.749 = 6.673 \text{ (кА)};$$

Ударний струм: $i_{уд_3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{л_0.0} = \sqrt{2} \cdot 1.95 \cdot 6.186 = 17.059 \text{ (кА)}$

2) Для двофазного КЗ ($m_2 = \sqrt{3}$) по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{0.0л} = 0.75$$

$$I'_{0.1л} = 0.69$$

$$I'_{\infty л} = 0.93$$

Струми в кА:

$$I_{л2_0.0} = I'_{0.0л} \cdot m_2 \cdot I_{нл} = 0.75 \cdot \sqrt{3} \cdot 3.749 = 4.87 \text{ (кА)};$$

$$I_{л2_0.1} = I'_{0.1л} \cdot m_2 \cdot I_{нл} = 0.69 \cdot \sqrt{3} \cdot 3.749 = 4.48 \text{ (кА)};$$

$$I_{л2_∞} = I'_{\infty л} \cdot m_2 \cdot I_{нл} = 0.93 \cdot \sqrt{3} \cdot 3.749 = 6.039 \text{ (кА)};$$

Результати розрахунків занесемо в таблицю 2.2:

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку струму КЗ на РП 110 кВ

№ п/ п	Міс- це к.з.	Ви д к.з.	U _б	X _{e1}	X _{e2}	X _{e0}	X _e ^(^o)	Параметри променів			
								S _п	C _п	I _{нп}	X _{розр.}
1	К ₃	(3)	110	0.073	–	–	0.073	714.25	1	3.749	0.662
2	К ₃	(2)	110	0.073	0.073	–	0.146	714.25	1	3.749	1.324

Продовження таблиці 2.2

№	m ⁽¹⁾	I* _{0.0}	I* _{0.1}	I* _∞	I _{0.0}	I _{0.1}	I _∞	i _{уд}
1	1	1.65	1.55	1.78	6.186	5.811	6.73	17.059
2	√3	0.75	0.69	0.93	4.87	4.48	6.039	-

2.1.4. Розрахунок однофазного короткого замикання на РП 110 кВ

Знайдемо величини опорів у відносних одиницях. За базисну прийнемо потужність $S_{\bar{\sigma}} = 78.75$ МВА. За базисну візьмемо напругу 110 кВ.

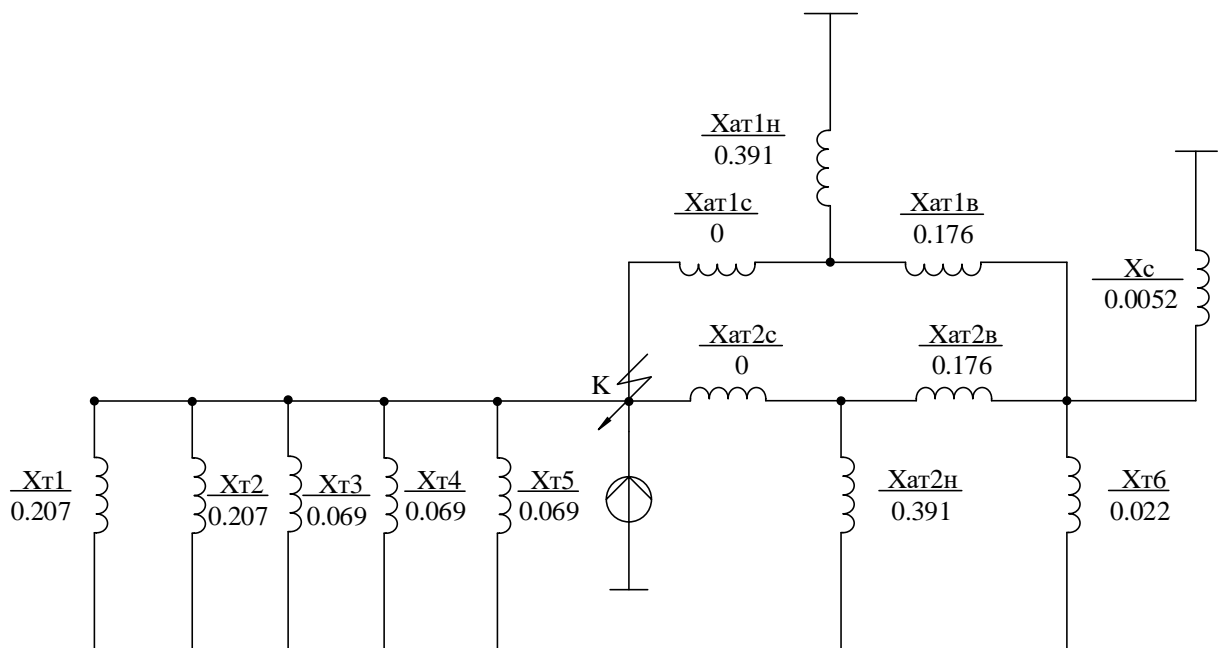
Опір автотрансформаторів АТДЦТН - 125000/330/110 :

$$\bar{X}_{B_s} = \frac{U_{K(B-C)\%} + U_{K(B-H)\%} - U_{K(C-H)\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.AT}} = \frac{11+45-28}{100} \cdot \frac{78.75}{125} = 0.176(в.о)$$

$$\bar{X}_{C_s} = \frac{U_{K(B-C)\%} + U_{K(C-H)\%} - U_{K(B-H)\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.AT}} = \frac{11+28-45}{100} \cdot \frac{78.75}{125} = 0(в.о)$$

$$\bar{X}_{H_s} = \frac{U_{K(B-H)\%} + U_{K(C-H)\%} - U_{K(B-C)\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.AT}} = \frac{28+45-11}{100} \cdot \frac{78.75}{125} = 0.391(в.о)$$

Складемо схему заміщення:



$$X_1 = \frac{X_c \cdot X_{T4}}{X_c + X_{T4}} = \frac{0.0052 \cdot 0.022}{0.00522 + 0.022} = 0.0042 \text{ (в. о.)}$$

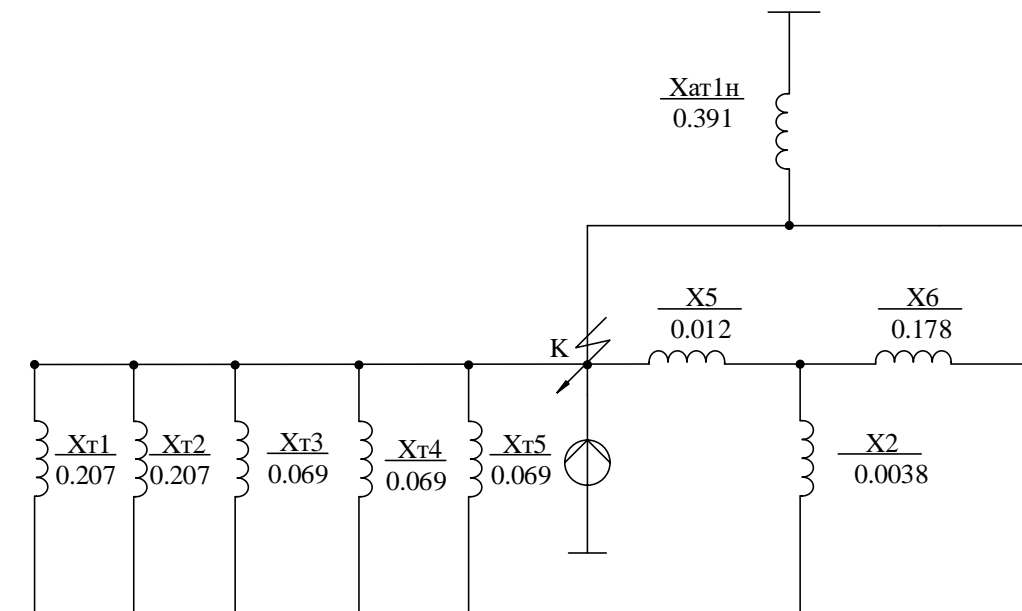
$$X_2 = \frac{X_{ат2H} \cdot X_1}{X_{ат2H} + X_1 + X_{ат2B}} = \frac{0.391 \cdot 0.0042}{0.391 + 0.0042 + 0.176} = 0.0038 \text{ (в. о.)}$$

$$X_3 = \frac{X_{ат2H} \cdot X_{ат2B}}{X_{ат2H} + X_1 + X_{ат2B}} = \frac{0.391 \cdot 0.176}{0.391 + 0.0042 + 0.176} = 0.012 \text{ (в. о.)}$$

$$X_4 = \frac{X_{ат2B} \cdot X_1}{X_{ат2H} + X_1 + X_{ат2B}} = \frac{0.176 \cdot 0.0055}{0.391 + 0.0042 + 0.176} = 0.0017 \text{ (в. о.)}$$

$$X_5 = X_{ат2c} + X_3 = 0 + 0.012 = 0.012 \text{ (в. о.)}$$

$$X_6 = X_{ат1B} + X_4 = 0.176 + 0.0017 = 0.178 \text{ (в. о.)}$$



$$X_7 = \frac{X_{ат1H} \cdot X_2}{X_{ат1H} + X_2 + X_6} = \frac{0.391 \cdot 0.0038}{0.391 + 0.0038 + 0.178} = 0.0026 \text{ (в. о.)}$$

$$X_8 = \frac{X_{ат1H} \cdot X_6}{X_{ат1H} + X_2 + X_6} = \frac{0.391 \cdot 0.178}{0.391 + 0.0038 + 0.178} = 0.122 \text{ (в. о.)}$$

$$X_9 = \frac{X_6 \cdot X_2}{X_{ат1H} + X_2 + X_6} = \frac{0.178 \cdot 0.0038}{0.391 + 0.0038 + 0.178} = 0.0011 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{10} = X_5 + X_9 = 0.012 + 0.0011 = 0.013 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

$$X_{11} = \frac{X_{10} \cdot X_8}{X_{10} + X_8} + X_7 = \frac{0.013 \cdot 0.122}{0.013 + 0.122} + 0.0026 = 0.014 \text{ (в. о.)}$$

$$X_e = \frac{1}{\frac{1}{X_{11}} + \frac{2}{X_{T1}} + \frac{1}{X_{T3}} + \frac{1}{X_{T4}} + \frac{1}{X_{T5}}} = \frac{1}{\frac{1}{0.014} + \frac{2}{0.207} + \frac{1}{0.069} + \frac{1}{0.069} + \frac{1}{0.069}} = 0.01 \text{ (в. о.)}$$

Потужність променя $S_{II} = 714.25 \text{ (МВА)}$

Номинальний струм променя:

$$I_{н110} = \frac{S_{II}}{\sqrt{3} \cdot U_{б110}} = \frac{714.25}{\sqrt{3} \cdot 110} = 3.749 \text{ (кА)}$$

$$X_{екв} = X_1 + X_2 + X_0 = 0.073 + 0.073 + 0.01 = 0.156 \text{ (в.о.)}$$

Розрахунковий опір променя при трьохфазному к.з.:

$$X_{розрах.110} = X_{екв} \cdot \frac{S_{II}}{S_B} = 0.165 \cdot \frac{714.25}{78.75} = 1.497 \text{ (в.о.)}$$

Для однофазного КЗ по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{0.0л} = 0.75$$

$$I'_{0.1л} = 0.71$$

$$I'_{\infty л} = 0.83$$

Струми в кА:

$$I_{л3_0.0} = I'_{0.0л} \cdot m \cdot I_{нл} = 0.75 \cdot 3 \cdot 3.749 = 8.435 \text{ (кА)};$$

$$I_{л3_0.1} = I'_{0.1л} \cdot m \cdot I_{нл} = 0.71 \cdot 3 \cdot 3.749 = 7.985 \text{ (кА)};$$

$$I_{л3_∞} = I'_{\infty л} \cdot m \cdot I_{нл} = 0.83 \cdot 3 \cdot 3.749 = 9.335 \text{ (кА)};$$

Результати розрахунків занесемо в таблицю 2.3.:

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку однофазного КЗ на РП 110 кВ

Місце к.з.	Вид к.з.	U _б	X _{E1}	X _{E2}	X _{E0}	X _E	Параметри променів			
							S _{II}	C _{II}	I _{нII}	X _{розрах}
К ₄	(1)	110	0.073	0.073	0.01	0.156	714.25	1	3.749	1.497

Продовження таблиці 2.3

$m^{(1)}$	$I_{*0,0}$	$I_{*0,1}$	$I_{*\infty}$	$I_{0,0}$	$I_{0,1}$	I_{∞}
3	0.76	0.71	0.83	8.435	7.985	9.335

2.2. Вибір і перевірка обладнання розрахункового відгалуження

2.2.1. Вибір лінійного реактора на розрахунковому відгалуженні

За рахунок економічного фактору вартості електрообладнання та необхідності забезпечення якості електроенергії на розрахунковому відгалуженні необхідно становити лінійний реактор.

Визначемо кількість приєднань до одної секції на ГРП 10.5 кВ:

$$n_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{відг}}}{n_c} = \frac{26}{2} = 13 \text{ шт.}$$

Приймемо, що від лінійного реактора відходить 4 відгалуження.

Визначаємо необхідну кількість лінійних реакторів:

$$n_p = \frac{n_{\text{пр}}}{4} = \frac{12}{4} \approx 3 \text{ (шт.)}$$

Для вибору необхідного реактору задаємось струмом вимикання за реактором елегазового вимикача серії VF. Номінальний струм відключення якого складає 31.5 (кА).

Визначаємо опір лінійного реактора:

$$X_{E1*} = \frac{I_6}{I_{\text{відкл}}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \cdot \frac{1}{I_{\text{відкл}}} = \frac{78.75}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{31.5} = 0.144 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{\text{баз*}} = X_{E1} - X_{E1} = 0.144 - 0.084 = 0.06 \text{ (в. о.)}$$

Знайдемо опір реактора в іменованих одиницях:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$X_{\text{баж}} = X_{\text{баж}^*} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_6} = 0.06 \cdot \frac{10^2}{78.75} = 0.076 \text{ (Ом)}$$

Розрахунковий струм тривалого режиму:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{4 \cdot P_{\text{Від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{УСТ}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{4 \cdot 6.2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 1585 \text{ (А)}$$

Розрахунковий струм режиму, що обтяжує:

$$I_{\text{УТЯЖ}} = 1.05 \cdot \frac{4 \cdot P_{\text{Від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{УСТ}} \cdot \cos(\varphi)} = 1.05 \cdot \frac{4 \cdot 6.2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 1559 \text{ (А)}$$

Для заданих значень опору, струму та напругу заделегідь вибираємо:

Реактор одинарний для внутрішньої установки РБГ 10 – 1600 – 0.25У3

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Довгостроково допустимий струм, А	1600
Номінальний індуктивний опір, Ом	0.25
Струм електродинамічної стійкості, кА	49
Струм термічної стійкості, кА	19.3
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	8

Перевірку вибраного реактора робимо в табличній формі (таблиця 3.1), для $\tau = t_{\text{с.в}} + t_{\text{зmin}} = 0.08 + 5 = 5.08 \text{ с.}$

Розрахуємо струм к.з. за лінійним реатором:

Потужність променя : $S_n = 714.25 \text{ (МВА)}$

Номінальний струм променя: $I_{\text{н.н.}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{714.25}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 39.274 \text{ (кА)}$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

$$\bar{X}_{лр*} = X_{ном.р} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{ном.р}^2} = 0.25 \cdot \frac{78.75}{10^2} = 0.197 \text{ (в.о.)}$$

$$X_{E1} = \bar{X}_{лр*} + X_E = 0.197 + 0.084 = 0.281 \text{ (в.о.)}$$

$$X_{розрах.} = X_{E1} \cdot \frac{S_{л}}{S_{\delta}} = 0.281 \cdot \frac{714.25}{78.75} = 2.549 \text{ (в.о.)}$$

Виконуємо розрахунок струмів трифазного і двофазного КЗ за лінійним реактором.

1) Для трифазного КЗ по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{0.0л} = 0.42$$

$$I'_{0.1л} = 0.41$$

$$I'_{\infty л} = 0.46$$

Струми в кА:

$$I_{рл0.0} = I'_{рл0.0} \cdot I_{нл} = 0.42 \cdot 1 \cdot 39.274 = 16.495 \text{ (кА)}$$

$$I_{рл0.1} = I'_{рл0.1} \cdot I_{нл} = 0.41 \cdot 1 \cdot 39.274 = 16.102 \text{ (кА)}$$

$$I_{рл\infty} = I'_{рл\infty} \cdot I_{нл} = 0.46 \cdot 1 \cdot 39.274 = 18.066 \text{ (кА)}$$

$$\text{Ударний струм: } i_{рл\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_u \cdot I_{рл0.0} = \sqrt{2} \cdot 1.95 \cdot 16.495 = 45.489 \text{ (кА)}$$

2) Для двофазного КЗ по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{рд0.0} = I'_{рд0.1} = I'_{рд\infty} = \frac{1}{x_{розрах2}} = \frac{1}{5.098} = 0.196$$

Струми в кА:

$$I_{рл0.0} = I'_{рл0.0} \cdot I_{нл} = 0.196 \cdot \sqrt{3} \cdot 39.274 = 13.333 \text{ (кА)}$$

$$I_{рл0.1} = I'_{рл0.1} \cdot I_{нл} = 0.196 \cdot \sqrt{3} \cdot 39.274 = 13.333 \text{ (кА)}$$

$$I_{рл\infty} = I'_{рл\infty} \cdot I_{нл} = 0.196 \cdot \sqrt{3} \cdot 39.274 = 13.333 \text{ (кА)}$$

Результати занесемо до табл.2.4.

Таблиця 2.4. – Результати розрахунку струму КЗ за лінійним реактором

№ п/ п	Міс- це к.з.	Ви д к.з.	U _δ	X _{e1}	X _{e2}	X _{e0}	X _e ⁽¹⁾	Параметри променів			
								S _п	C _п	I _{нп}	X _{розрах.}
1	K ₂	(3)	10.5	0.281	–	–	0.281	714.25	1	39.274	2.549

2	K ₂	(2)	10.5	0.281	0.281	–	0.562	714.25	1	39.274	5.098
---	----------------	-----	------	-------	-------	---	-------	--------	---	--------	-------

Продовження табл.2.4.

№ п/п	m ⁰	I* _{0.0}	I* _{0.1}	I* _∞	I _{0.0}	I _{0.1}	I _∞	i _{уд}
1	1	0.42	0.41	0.46	16.495	16.102	18.066	45.489
2	√3	0.196	0.196	0.196	13.333	13.333	13.333	-

Враховуючи, що струми трифазного КЗ перевищують струми двофазного КЗ, перевірку реактора робимо по струмах трифазного КЗ.

Перевіряємо вибраний реактор:

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{\text{трив.макс}} = 1341 \text{ (A)} \leq I_{\text{ном}} = 1600 \text{ (A)}$$

- за напругою установки:

$$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)} = U_{\text{ном}} = 10 \text{ (кВ)}$$

Перевіряємо реактор на динамічну стійкість струму к.з.:

$$i_y = 45.489 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}} = 49 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо на термічну стійкість реактор: $B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$,

де $B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - тепловий імпульс квадратичного початкового струму к.з.

$$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}} \text{ — час вимкнення}$$

З номінальних параметрів:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$B_k = I_t^2 \cdot t_t = 19.3^2 \cdot 8 = 2980 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму:

$$B_k = 16.495^2 \cdot (5.08 + 0.1) = 1409 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$$B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a) \text{ - умова виконується}$$

Перевіряємо по залишковій напрузі:

$$U_{\text{зал}\%} = x_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{по}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = 0.25 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 16.495}{10} \cdot 100\% = 71.425 \text{ (\%)}$$

$$U_{\text{зал}\%} = 71.425 \text{ (\%)} \geq 65 \text{ (\%)} \dots 70 \text{ (\%)} \text{ - умова виконується}$$

Перевіряємо по втраті напруги в робочому режимі:

$$\Delta U_{\text{р}\%} = x_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{утяж}}}{U_{\text{ном}}} \cdot \sin(\varphi) \cdot 100\% = 0.25 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1.284}{10} \cdot 0.6 \cdot 100\% = 3.3 \text{ (\%)}$$

$$\Delta U_{\text{р}\%} = 3.3 \text{ (\%)} \leq 5 \text{ (\%)} \dots 6 \text{ (\%)} \text{ - умова виконується}$$

Таблиця 2.5 Перевірка реактора РБГ 10 – 1600 – 0.25У3

Розраховані дані	Умова вибору	Паспортні дані
		Реактор РБГ 10 – 1600 – 0.25У3
$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)}$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	10 (кВ)
$I_{\text{норм}} = 1277 \text{ (А)}$ $I_{\text{утяж}} = 1559 \text{ (А)}$	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$	1600 (А)
$i_y = 45.489 \text{ (кА)}$	$i_y \leq I_{\text{пр.скв}}$	49 (кА)
$B_k = 1409 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$	2980 (кА ² · с)
$U_{\text{зал}\%} = 71.425 \text{ (\%)}$ $\Delta U_{\text{р}\%} = 3.3 \text{ (\%)}$	$U_{\text{зал}\%} \geq 65 \text{ (\%)} \dots 70 \text{ (\%)}$ $\Delta U_{\text{р}\%} \leq 5 \text{ (\%)} \dots 6 \text{ (\%)}$	-

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

З таблиці видно, що реактор РБГ 10 – 1600 – 0.25УЗ проходять по всім умовам.

2.2.2. Вибір вимикача та роз'єднувача на лінії місцевого навантаження

Розрахунковий струм тривалого режиму:

$$I_{\text{норм}} = \frac{P_{\text{від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{5.82}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 376 \text{ (A)}$$

Розрахунковий струм режиму, що обтяжує:

$$I_{\text{утяж}} = 1.05 \cdot \frac{P_{\text{від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = 1.05 \cdot \frac{5.82}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 395 \text{ (A)}$$

Для заданих значень струму та напругу заделегідь вибираємо:

Елегазовий вимикач VF12.08.31

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	630
Номінальний струм відключення, кА	31.5
Нормована наявність аперіодичної складової, %	40
Струм електродинамічної стійкості, кА	80
Струм термічної стійкості, кА	31.5
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	3
Власний час відключення, с	0.06
Повний час відключення, с	0.08

Роз'єднувач РВ – 10/630 УЗ

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	630
Граничний наскрізний струм (гол. ножі), кА	52
Струм термічної стійкості (гол. ножі), кА	20
Допустимий час дії струму термічної стійкості (гол.ножі), с	4

Перевірку вибраного вимикача та роз'єднувача робимо в табличній формі (таблиця 3.3), для $\tau = t_{c.v} + t_{zmin} = 0.08 + 5 = 5.08$ с.

Перевіряємо вибране обладнання

Вимикач:

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{уТЯЖ} = 376 \text{ (A)} \leq I_{НОМ} = 630 \text{ (A)}$$

- за напругою установки:

$$U_{вст} = 10 \text{ (кВ)} = U_{НОМ} = 10 \text{ (кВ)}$$

- за мінімальним струмом вимкнення

$$I_{пт} = 16.495 \text{ (кА)} \leq I_{НОМ.ВИМК.} = 31.5 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо вимикач на динамічну стійкість струму к.з.:

$$I_{п0} = 16.495 \text{ (кА)} \leq I_{пр.скв}^{по} = 31.5 \text{ (кА)}$$

$$i_{ат} = 2.855 \text{ (кА)} \leq I_{a\text{ ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{НОМ.ВИМК.} = \sqrt{2} \cdot 0.4 \cdot 40 = 17.819 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо по повному струму к.з.:

$$i_{\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 16.495 + 2.855 = 26.182 \text{ (кА)}$$

$$i_{НОМ} = \sqrt{2} \cdot I_{НОМ.ВИМК.} \cdot t_{\tau} = \sqrt{2} \cdot 31.5 \cdot (1 + 0.4) = 62.367 \text{ (кА)}$$

$$i_{\tau} \leq i_{НОМ} - \text{умова виконується}$$

$$i_y = 45.489 \text{ (кА)} \leq I_{пр.скв} = 80 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо на вміст аперіодичної складової струму к.з.:

$$\beta = \frac{i_{ат}}{i_{\tau}} \cdot 100\% = \frac{2.855}{26.182} \cdot 100\% = 10.9 \text{ (\%)} \leq \beta_{НОМ} = 40 \text{ (\%)}$$

Перевіряємо на термічну стійкість вимикача та роз'єднувача: $B_k \leq I_{\tau}^2 \cdot t_{\tau}$,

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де $B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - тепловий імпульс квадратичного початкового стуму к.з.

$$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}} \text{ - час вимкнення}$$

Для вимикача з номінальних параметрів:

$$B_k = I_t^2 \cdot t_t = 31.5^2 \cdot 5 = 4961 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (гол. ножі):

$$B_k = I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму:

$$B_k = 16.495^2 \cdot (5.08 + 0.1) = 1409 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - умова виконується

Таблиця 2.6 - Перевірка вимикача та роз'єднувача

Розраховані дані	Умова вибору	Паспортні дані	
		Вимикач VF12.08.31	Роз'єднувач РВ – 10/630 УЗ
$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)}$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{\text{НОРМ}} = 319 \text{ (А)}$ $I_{\text{УТЯЖ}} = 335 \text{ (А)}$	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{НОМ}}$	630 (А)	630 (А)
$I_{\text{пт}} = 16.495 \text{ (кА)}$ $i_{\text{ат}} = 2.855 \text{ (кА)}$	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{НОМ.ВИМК.}}$ $i_{\text{ат}} \leq I_{\text{а ном}}$	31.5 (кА) 17.819 (кА)	- -
$I_{\text{по}} = 16.495 \text{ (кА)}$ $i_y = 45.489 \text{ (кА)}$	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{пр.СКВ}}^{\text{по}}$ $i_y \leq I_{\text{пр.СКВ}}$	31.5 (кА) 80 (кА)	52 (кА) - гол.ножі
$\beta = 10.9 \text{ (\%)}$	$\beta \leq \beta_{\text{НОМ}}$	40 (%)	-
$B_k = 1.409 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$	4961 (кА ² · с)	1600 (кА ² · с) - гол. ножі

З таблиці видно, що вимикач VF12.08.31 та роз'єднувач РВ – 10/630 УЗ проходять по всім умовам.

2.3. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ГРП 10.5 кВ та РП 110 кВ

2.3.1 Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ГРП 10.5 кВ

Розрахунковий струм тривалого режиму:

$$I_{\text{норм}} = \frac{P_{\Gamma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.8} = 4330 \text{ (A)}$$

Розрахунковий струм режиму, що обтяжує:

$$I_{\text{утяж}} = 1.05 \cdot \frac{P_{\Gamma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = 1.05 \cdot \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.8} = 4547 \text{ (A)}$$

Для заданих значень струму та напругу заделегідь вибираємо:

Вакуумний вимикач ВВГ-10-5000-63 У1

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	5000
Номінальний струм відключення, кА	80
Нормована наявність аперіодичної складової, %	50
Струм електродинамічної стійкості, кА	161
Струм термічної стійкості, кА	63
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	3
Власний час відключення, с	0.05
Повний час відключення, с	0.08

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

Роз'єднувач РВРЗ - 1 – 10/6300УЗ

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	6300
Граничний наскрізний струм (гол. ножі), кА	180
Струм термічної стійкості (гол. ножі), кА	71
Допустимий час дії струму термічної стійкості (гол.ножі), с	4
Граничний наскрізний струм (зезем. ножі), кА	180
Струм термічної стійкості (зезем. ножі), кА	71
Допустимий час дії струму термічної стійкості (зезем. ножі), с	1

Перевірку вибраного вимикача та роз'єднувача робимо в табличній формі (таблиця 3.4), для $\tau = t_{с.в} + t_{зmin} = 0.05 + 0.01 = 0.06$ с.

Умова установки:

- за напругою установки:

$$U_{вст} = 10 \text{ (кВ)}$$

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{трив.макс} = 1.1 \cdot I_{роб.} = 1.1 \cdot \frac{P'_r}{\cos(\varphi) \cdot U_{уст} \cdot \sqrt{3}} = 1.1 \cdot \frac{54}{0.8 \cdot 10 \cdot \sqrt{3}} = 4287 \text{ (А)} \text{ (2.33)}$$

Перевіряємо вибране обладнання:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вимикач:

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{\text{трив.макс}} = 4287 \text{ (A)} \leq I_{\text{ном}} = 5000 \text{ (A)}$$

- за напругою установки:

$$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)} = U_{\text{ном}} = 10 \text{ (кВ)}$$

- за мінімальним струмом вимкнення

$$I_{\text{пт}} = 51.503 \text{ (кА)} \leq I_{\text{ном.вимк.}} = 80 \text{ (кА)}$$

Перевіримо вимикач на динамічну стійкість струму к.з.:

$$I_{\text{по}} = 51.503 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}}^{\text{по}} = 80 \text{ (кА)}$$

$$i_{\text{ат}} = 54.067 \text{ (кА)} \leq I_{\text{а ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном.вимк.}} = \sqrt{2} \cdot 0.5 \cdot 80 = 56.569 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо по повному струму к.з.:

$$i_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 51.503 + 54.067 = 126.903 \text{ (кА)}$$

$$i_{\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.вимк.}} \cdot t_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot 80 \cdot (1 + 0.5) = 169.706 \text{ (кА)}$$

$$i_{\text{т}} \leq i_{\text{ном}} - \text{умова виконується}$$

$$i_{\text{у}} = 142.031 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}} = 161 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо на вміст аперіодичної складової струму к.з.:

$$\beta = \frac{i_{\text{ат}}}{i_{\text{т}}} \cdot 100\% = \frac{54.067}{126.903} \cdot 100\% = 42.6 (\%) \leq \beta_{\text{ном}} = 50 (\%)$$

Перевіряємо на термічну стійкість вимикач та роз'єднувач: $V_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$,

де $V_{\text{к}} \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_{\text{а}})$ - тепловий імпульс квадратичного початкового струму к.з.

$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}}$ - час вимкнення

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

Для вимикача з номінальних параметрів:

$$W_k = I_t^2 \cdot t_t = 63^2 \cdot 3 = 11910 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (гол. ножі):

$$W_k = I_t^2 \cdot t_t = 71^2 \cdot 4 = 20160 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (зазем. ножі):

$$W_k = I_t^2 \cdot t_t = 71^2 \cdot 1 = 5041 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму:

$$W_k = 51.503^2 \cdot (0.06 + 0.02) = 212.205 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$$W_k \leq I_{по}^2 \cdot (t_{вимк} + T_a) \text{ - умова виконується}$$

Таблиця 2.7 - Перевірка вимикача та роз'єднувача

Розраховані дані	Умова вибору	Паспортні дані	
		Вимикач ВВГ- 10 – 5000 – 63У1	Роз'єднувач РВРЗ – 1 – 10/6300У3
$U_{вст} = 10 \text{ (кВ)}$	$U_{вст} \leq U_{ном}$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{норм} = 4330 \text{ (А)}$ $I_{утяж} = 4547 \text{ (А)}$ $I_{трив.макс} = 4287 \text{ (А)}$	$I_{макс} \leq I_{ном}$	5000 (А)	6300 (А)
$I_{пт} = 51.503 \text{ (кА)}$ $i_{ат} = 54.067 \text{ (кА)}$ $I_{по} = 51.503 \text{ (кА)}$ $i_y = 142.031 \text{ (кА)}$	$I_{по} \leq I_{пр.скв}^{по}$ $i_y \leq I_{пр.скв}$	80 (кА) 161 (кА)	180 (кА) гол. та зезем ножі
$\beta = 42.6 \text{ (\%)}$	$\beta \leq \beta_{ном}$	50 (%)	-

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

$B_k = 212.205 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$	11910 (кА ² · с)	20160 (кА ² · с) - гол. ножі 5041 (кА ² · с) – зазем. ножі
---	----------------------------	-----------------------------	---

З таблиці видно, що вимикач ВВГ-10-5000-63 У1 та роз'єднувач РВРЗ - 1 – 10/6300У3 проходять по всім умовам.

2.3.2. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ВРП-110 кВ

Розрахунковий струм тривалого режиму:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ.АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 115} = 765.5 \text{ (А)}$$

Для заданих значень струму та напругу заделегідь вибираємо:

Елегазовий вимикач LTB – 145

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	110
Номінальний струм, А	1000
Номінальний струм відключення, кА	40
Нормована наявність аперіодичної складової, %	52
Струм електродинамічної стійкості, кА	102
Струм термічної стійкості, кА	40
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	3
Власний час відключення, с	0.022
Повний час відключення, с	0.04

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

Роз'єднувач РНДЗ,1 – 110/1000У1

Параметр	Значення
Номинальна напруга, кВ	110
Номинальний струм, А	1000
Граничний наскрізний струм (гол. ножі), кА	125
Струм термічної стійкості (гол. ножі), кА	50
Допустимий час дії струму термічної стійкості (гол.ножі), с	4
Граничний наскрізний струм (зезем. ножі), кА	125
Струм термічної стійкості (зезем. ножі), кА	50
Допустимий час дії струму термічної стійкості (зезем. ножі), с	1

Перевірку вибраного вимикача та роз'єднувача робимо в табличній формі (таблиця 2.5), для $\tau = t_{c.v} + t_{zmin} = 0.04 + 0.01 = 0.05$ с.

Умова установки:

- за напругою установки:

$$U_{вст} = 110 \text{ (кВ)}$$

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{трив.макс} = 1.1 \cdot I_{роб.} = 1.1 \cdot \frac{P'_r}{\cos(\varphi) \cdot U_{уст} \cdot \sqrt{3}} = 1.1 \cdot \frac{90}{0.8 \cdot 110 \cdot \sqrt{3}} = 650 \text{ (А)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

Перевіряємо вибране обладнання:

Вимикач:

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{\text{трив.макс}} = 650 \text{ (A)} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ (A)}$$

- за напругою установки:

$$U_{\text{вст}} = 110 \text{ (кВ)} = U_{\text{ном}} = 110 \text{ (кВ)}$$

- за мінімальним струмом вимкнення

$$I_{\text{пт}} = 6.186 \text{ (кА)} \leq I_{\text{ном.вимк.}} = 40 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо вимикач на динамічну стійкість струму к.з.:

$$I_{\text{по}} = 6.186 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}}^{\text{по}} = 40 \text{ (кА)}$$

$$i_{\text{ат}} = 8.966 \text{ (кА)} \leq I_{\text{а ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном.вимк.}} = \sqrt{2} \cdot 0.52 \cdot 40 = 29.416 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо по повному струму к.з.:

$$i_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 6.186 + 8.966 = 17.714 \text{ (кА)}$$

$$i_{\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.вимк.}} \cdot t_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 0.52) = 85.984 \text{ (кА)}$$

$$i_{\text{т}} \leq i_{\text{ном}} - \text{умова виконується}$$

$$i_{\text{у}} = 17.059 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}} = 102 \text{ (кА)}$$

Перевіряємо на вміст аперіодичної складової струму к.з.:

$$\beta = \frac{i_{\text{ат}}}{i_{\text{т}}} \cdot 100\% = \frac{8.966}{17.714} \cdot 100\% = 50.6 (\%) \leq \beta_{\text{ном}} = 52 (\%)$$

Перевіряємо на термічну стійкість вимикач та роз'єднувач: $B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$,

де $B_{\text{к}} \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_{\text{а}})$ - тепловий імпульс квадратичного початкового струму к.з.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

$$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}} \text{ — час вимкнення}$$

Для вимикача з номінальних параметрів:

$$V_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (гол. ножі):

$$V_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 50^2 \cdot 4 = 10000 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (зазем. ножі):

$$V_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 50^2 \cdot 1 = 2500 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму:

$$V_{\text{к}} = 6.186^2 \cdot (0.05 + 0.04) = 3.444 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

$$V_{\text{к}} \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_{\text{а}}) \text{ — умова виконується}$$

Таблиця 2.5 - Перевірка вимикача та роз'єднувача

Розраховані дані	Умова вибору	Паспортні дані	
		Вимикач	Роз'єднувач
		ЛТВ – 145	РНД3,1 – 110/1000У1
$U_{\text{вст}} = 110 \text{ (кВ)}$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	110 (кВ)	110 (кВ)
$I_{\text{ном}} = 765.5 \text{ (А)}$	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$	1000 (А)	1000 (А)
$I_{\text{пт}} = 6.186 \text{ (кА)}$	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{ном.вимк.}}$	40 (кА)	-
$i_{\text{ат}} = 8.966 \text{ (кА)}$	$i_{\text{ат}} \leq I_{\text{а ном}}$	29.416 (кА)	-
$I_{\text{по}} = 6.186 \text{ (кА)}$	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{пр.скв}}^{\text{по}}$	40 (кА)	125 (кА)
$i_{\text{у}} = 17.059 \text{ (кА)}$	$i_{\text{у}} \leq I_{\text{пр.скв}}$		

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

		102 (кА)	гол. та зезем ножі
$\beta = 50.6 (\%)$	$\beta \leq \beta_{\text{ном}}$	52 (%)	-

Продовження табл. 2.5

$B_k = 3.444 (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$	4800 ($\text{кА}^2 \cdot \text{с}$)	10000 ($\text{кА}^2 \cdot \text{с}$) - гол. ножі 2500 ($\text{кА}^2 \cdot \text{с}$) – зезем. ножі
--	----------------------------	---------------------------------------	---

З таблиці видно, що вимикач LTB – 145 та роз'єднувач РНДЗ,1 – 110/1000У1 проходять по всім умовам.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

Висновки до другого розділу:

В даному розділі дипломного проекту було розроблено розрахункову схему ТЕЦ та проведений розрахунок струмів КЗ для наступних вузлів станції: ГРП – 10,5 кВ, ВРП – 110 кВ, ВРП – 330 кВ.

На ГРП – 10,5 кВ був вибраний вакуумний вимикач ВГГ-10/63-5000 УЗ та роз'єднувач внутрішньої установки роз'єднувач РВРЗ - 1 – 10/6300УЗ

. Для блочного генератора Г4 потужністю 100 МВт були вибрані елегазові вимикачі НЕСС – 100R та роз'єднувач внутрішньої установки РВРЗ-1-20/8000 УЗ. Для блочного генератора Г5 потужністю 300 МВт був вибраний повітряний вимикач ВВГ-20-160/12500УЗ та роз'єднувач внутрішньої установки РВРЗ-1-20/12500 УЗ. На ВРП – 110 кВ був вибраний елегазовий вимикач ЛТВ – 145 та роз'єднувач зовнішньої установки РНДЗ,1 – 110/1000У1

Вибране обладнання відповідає всім вимогам та проходить по всім умовам перевірки.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розділ 3

Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання

					141.ЕТ-7106.004.БР			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Коваль А.С.			Аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання на шинах теплоелектроцентралі потужністю 720 МВт. Розділ 3	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Костєєв М.В.					67	90
<i>Н. Контр.</i>		Матєєнко Ю.П.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ВДЕ гр. ЕТ-71		
<i>Затв.</i>		Будько В.І.						

3.1 Рівняння Горева-Парка

Для розрахунку СКЗ можна застосовувати рівняння Горева-Парка. Однак більш зручним саме при аналізі електромагнітних перехідних процесів, що виникають при коротких замиканнях, є форма запису, що використовує ЕРС машини.

З огляду на те, що швидкість протікання електромагнітних перехідних процесів набагато вище, ніж механічного руху системи, цілком прийнятним є введення допущення про сталість швидкості обертання синхронних машин. Іншими словами, приймається $S = 0$ і не враховується динаміка руху ротора. При цих умовах рівняння Горева-Парка виходять лінійними, в силу чого вельми зручним математичним апаратом для аналізу перехідних процесів є операційний метод. Замінивши в рівняннях $\frac{d}{dt}$ на оператор « p », Отримаємо рівняння Горева-Парку в операційній формі при нульових початкових умовах.

При зазначених припущеннях рівняння Горева-Парка в операторній формі при нульових початкових умовах мають вигляд:

$$U_d = -R \cdot i_d - p \cdot \psi_d - \psi_d \quad (1)$$

$$U_q = -R \cdot i_q - p \cdot \psi_q + \psi_q \quad (2)$$

$$U_f = r \cdot i_f + p \cdot \psi_f \quad (3)$$

$$\psi_d = x_d \cdot i_d + x_{ad} \cdot i_f \quad (4)$$

$$\psi_q = x_q \cdot i_q \quad (5)$$

$$\psi_f = x_{ad} \cdot i_d + x_f \cdot i_f \quad (6)$$

Якщо тепер потокозчеплення (рівняння 4-6) підставити в вихідні рівняння Горева-Парку та виконати перетворення, то отримаємо рівняння в формі ЕРС:

$$1. \quad p \cdot e'_q = \frac{1}{T_{f0}} \cdot [-e'_q + (x_d - x'_d) \cdot i_d + E_q]$$

$$2. \quad p \cdot (e'_q + x'_d \cdot i_d) = -U_d - R \cdot i_d - x_q \cdot i_q$$

$$3. \quad p \cdot (x_q \cdot i_q) = -U_q - R \cdot i_q + e'_q + x'_d \cdot i_d$$

Аналіз електромагнітного перехідного процесу при взаємному КЗ на затискачах (або за зовнішнім реактивним опором) синхронного генератора розглянемо, вважаючи, що генератор працює ізольовано. Крім того, передбачається, що сис-

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

тема регулювання збудження відсутня і це призводить до того, що напруга збудження залишається постійною протягом перехідного процесу.

3.2 КЗ синхронної машини без демпферних обмоток

Дослідження КЗ будемо проводити, використовуючи операційне числення
Періодична складова СКЗ:

Обчислення періодичної складової струму КЗ синхронної машини може бути виконано при введенні таких припущень:

- а) нехтування активним опором статора, тобто $R = 0$;
- б) нехтування трансформаторними ЕРС в рівняннях рівноваги напруги статора (тобто $p \cdot \psi = 0$).

Висновок співвідношення для визначення періодичного струму КЗ будемо робити при ненульових початкових умовах.

Перетворення рівнянь з урахуванням зазначених припущень.

$$p \cdot (e'_q - e'_q(0)) = \frac{1}{T_{f0}} \cdot [-e'_q + (x_d - x'_d) \cdot i_d + E_q] \quad (1)$$

$$p \cdot \psi_d = p \cdot (e'_q - x'_d \cdot i_d) = p \cdot \psi_d = 0 = -U_d - R \cdot i_d - x \cdot i_q \quad (2)$$

$$p \cdot \psi_q = p \cdot (x \cdot i_q) = p \cdot \psi_q = 0 = -U_q - R \cdot i_q + e'_q + x'_d \cdot i_d \quad (3)$$

Перше рівняння залишається без змін. Воно визначає облік перехідних процесів в обмотці збудження.

З огляду на, що при КЗ $U_d = U_q = 0$, з другого рівняння маємо $x \cdot i_q = 0$ звідки $i_q = 0$.

Тобто, при зроблених припущеннях поперечна складова СКЗ буде відсутня. З третього рівняння отримуємо: $e'_q + x'_d \cdot i_d = 0$ і, переписавши перше рівняння з урахуванням ненульових початкових умов, остаточно отримаємо два рівняння, що визначають СКЗ:

$$\begin{cases} p \cdot (e'_q - e'_q(0)) = \frac{1}{T_{f0}} \cdot [-e'_q + (x_d - x'_d) \cdot i_d + E_q] \\ e'_q + x'_d \cdot i_d = 0 & e'_q = -x'_d \cdot i_d \end{cases}$$

Підставимо друге рівняння в перше і дозволимо його щодо струму i_d :

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$p \cdot T_{f0} \cdot [-x'_d \cdot i_d - e'_q(0)] = x'_d \cdot i_d + x_d \cdot i_d - x'_d \cdot i_d + E_q$$

перенесемо i_d вліво, а ЕРС вправо:

$$-i_d \cdot (x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d) = p \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + E_q$$

$$i_d = \frac{p \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + E_q}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d} = \frac{N(p)}{H(p)}$$

Знак «-» перед загальним виразом надалі опустимо.

Використовуємо теорему розкладання для визначення струму в тимчасовій області:

$$\text{ті: } i(t) = \frac{N(0)}{H(0)} + \sum \frac{N(p_k)}{p_k \cdot H'(p_k)} \cdot e^{p_k \cdot t}$$

$$\begin{cases} N(0) = E_q \\ H(0) = x_d \end{cases}$$

Обчислимо корені характеристичного рівняння $H(p) = 0$:

$$H(p) = 0 = x_d + p \cdot x'_d \cdot T_{f0}, \quad p = -\frac{1}{T_{f0}} \cdot \frac{x_d}{x'_d} = -\frac{1}{T'_d}$$

похідна $H'(p)$:

$$H'(p) = x'_d \cdot T_{f0}$$

$$i_d(t) = \frac{E_q}{x_d} + \left(\frac{-\frac{1}{T_{f0}} \cdot \frac{x_d}{x'_d} \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + E_q}{-\frac{1}{T_{f0}} \cdot \frac{x_d}{x'_d} \cdot x'_d \cdot T_{f0}} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} = \frac{E_q}{x_d} + \left(\frac{e'_q(0)}{x'_d} - \frac{E_q}{x_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}}$$

тоді:

Це формула для обчислення періодичної складової СКЗ, записана в координатах $(d-q)$ машини.

З цього бачимо, що даний струм є поздовжнім періодичним, загасаючим. Чинне значення цього струму дорівнюватиме (якщо в якості ЕРС прийняти діюче значення):

$$I_{II}(t) = \frac{E_{q\infty}}{x_d} + \left(\frac{e'_q(0)}{x'_d} - \frac{E_q}{x_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} = I_\infty + (I'_{0,0} - I_\infty) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} = I_\infty + I'_{dcs} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}}$$

де I_∞ - сталий СКЗ;

$I'_{0,0}$ - початкова перехідна СКЗ;

I'_{dcs} - вільна перехідна СКЗ.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

3.3 Складові струму КЗ

Розглянемо, отримані рівняння для випадку КЗ, а також врахуємо, що повинні знаходитися перехідні струми Δi_d , Δi_q .

Для нашого випадку, отримаємо:

$$U'_d = \Delta U_d + \frac{p}{1 + p \cdot T_{f0}} \cdot \Delta E_q = -U_{d0}$$

$$U'_q = -U_{q0}$$

$$\Delta i_d = \frac{U_{d0} \cdot z_q(p) - U_{q0} \cdot x_q(p)}{z_d(p) \cdot z_q(p) + x_d(p) \cdot x_q(p)} = \frac{N(p)}{H(p)}$$

$$\Delta i_q = \frac{U_{q0} \cdot z_d(p) + U_{d0} \cdot x_d(p)}{z_d(p) \cdot z_q(p) + x_d(p) \cdot x_q(p)} = \frac{M(p)}{H(p)}$$

Для знаходження струмів в тимчасовій області як і раніше, використовуємо формулу розкладання. Розглянемо характеристичне рівняння з метою обчислення його коренів:

$$H(p) = 0 = (R + p \cdot x_d(p)) \cdot (R + p \cdot x_q(p)) + x_d(p) \cdot x_q(p)$$

Це рівняння, якщо його розкрити, буде рівнянням третього ступеня щодо p . Це вказує на те, що струми Δi_d , Δi_q містять в собі три вільні складові. Таким чином, вже для цих умов доводиться вирішувати рівняння 3-го ступеня, що вельми складно.

В цьому випадку знаходять наближені значення коренів, для чого по черзі приймають рівними нулю:

$$H(p) = 0 = (R + p \cdot x_d(p)) \cdot (R + p \cdot x_q(p)) + x_d(p) \cdot x_q(p)$$

1. $r = 0$

маємо:

$$x_q(p) = x_q$$

$$x_d(p) = x'_d + \frac{x_d - x'_d}{1 + p \cdot T_{f0}} = x'_d \quad \left| \begin{array}{l} x_d(p) = \frac{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d}{1 + p \cdot T_{f0}} \\ T_{f0} = \frac{x_f}{r} = \infty \end{array} \right.$$

									Арк.
									71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	141.ЕТ-7106.004.БР				

тоді:
$$\Delta(p) = H(p) = (R + p \cdot x'_d) \cdot (R + p \cdot x_q) + x'_d \cdot x_q = 0$$

або
$$(x'_d \cdot x_q) \cdot p^2 + R \cdot (x'_d + x_q) \cdot p + (x'_d \cdot x_q + R^2) = 0$$

звідки знаходяться корені:

$$p_{1,2} = -\frac{(x'_d + x_q) \cdot R}{2 \cdot x'_d \cdot x_q} \pm j \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{(x_q - x'_d) \cdot R}{2 \cdot x'_d \cdot x_q} \right]^2} = -\alpha \pm j \cdot \omega_k$$

Отримуємо два комплексних сполучених кореня. Дійсна частина вказує на затухання відповідних вільних струмів (вона негативна), уявна частина - вказує на частоту, з якою змінюються струми.

Так як від'ємник під коренем набагато менше одиниці, то його приймають рівним нулю, тоді кутова частина буде дорівнює $\omega_* = 1$ (Тобто відповідно до відносними одиницями це відповідає синхронної швидкості). Величина, зворотна α - це є постійна часу загасання аперіодических вільних струмів статора, їм відповідних:

$$\frac{1}{\alpha} = T_a = \frac{2 \cdot x'_d \cdot x_q}{R \cdot (x'_d + x_q)} = \frac{x_2}{R}$$

де x_2 - це опір зворотньої послідовності машини.

$$p_{1,2} = -\frac{1}{T_a} \pm j \cdot \omega$$

2. для знаходження третього кореня приймаємо: $R = 0$

$$H(p) = p \cdot x_d(p) \cdot p \cdot x_q + x_d(p) \cdot x_q = (p^2 + 1) \cdot (x_d(p) \cdot x_q) = (p^2 + 1) \cdot \left[\frac{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d}{1 + p \cdot T_{f0}} \cdot x_q \right] = 0$$

Перші два кореня $p_{1,2} = \pm j$ (Вони відповідають тим двом кореням, які отримані при допущенні $r = 0$). Третій корінь вийде з другої частини рівняння:

$$x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d = 0$$

Звідки:
$$p_3 = -\frac{1}{T_{f0}} \cdot \frac{x_d}{x'_d} = -\frac{1}{T'_d}$$

тобто третій корінь дійсний і негативний, що вказує на те, що струм, йому відповідний, загасає і є аперіодичним.

Постійна часу загасання цього струму:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$T'_d = -\frac{1}{p_3} = T_{f0} \cdot \frac{x'_d}{x_d}$$

Так як ми знайшли коріння характеристичного рівняння, то, використовуючи теорему розкладання можна знайти тимчасові функції струмів (фазні). Однак вираження виходити громіздкими. Тому для подальшого спрощення нехтуємо впливом активних опорів (тобто будемо враховувати їх тільки при визначенні постійних загасання).

Аналіз отриманих виразів показує, що струм короткого замикання містить три вільних складових (відповідно трьом корінням характеристичного рівняння) і одну постійну складову. Не розкриваючи поки коефіцієнти, вираз для струму в осях $d-q$ має вид:

$$i(t) = I_\infty + I_1 \cdot e^{p_1 t} + I_2 \cdot e^{p_2 t} + I'_{c\phi} \cdot e^{p_3 t} = I_\infty + I_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot e^{-j\omega t} + I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot e^{j\omega t} + I'_{c\phi} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}}$$

Для визначення струму в системі координат статора отриманий вираз слід піддати перетворенню:

$$i_s = i_{sk} \cdot e^{j\gamma}, \text{ де } \gamma = \omega_s \cdot t$$

Отже, для переходу до системи координат статора необхідно отримане рівняння помножити на оператор повороту $e^{j\omega t}$:

$$i_{sa} = I_\infty \cdot e^{j\omega t} + I_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} + I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot e^{j2\omega t} + I'_{c\phi} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} \cdot e^{j\omega t} = \left(I_\infty + I'_{c\phi} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} \right) \cdot e^{j\omega t} + I_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} + I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot e^{j2\omega t}$$

зі структури отриманого співвідношення можна охарактеризувати кожен складову:

$I_\infty \cdot e^{j\omega t}$ - сталий струм КЗ;

$I_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$ - апериодический струм КЗ;

$I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot e^{j2\omega t}$ - струм подвійний гармоніки, затухаючий з постійною часу T_a ;

$I'_{c\phi} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} \cdot e^{j\omega t}$ - періодичний вільний струм КЗ, затухаючий з постійною часу T'_d .

Застосування теореми розкладання, як і в разі спрощеного рішення рівнянь Горева-Парка, дає можливість обчислити коефіцієнти I_∞ , I_1 , I_2 , $I'_{c\phi}$, В результаті

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

чого формула миттєвого значення струму статора набуває вигляду (без урахування R при обчисленні коефіцієнтів):

$$i_a = \left[\frac{E_{q0}}{x_d} + \left(\frac{E'_{q0}}{x'_d} - \frac{E_{q0}}{x_d} \right) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} \right] \cdot \cos \omega t - U_{q0} \cdot \frac{x'_d + x_q}{2 \cdot x'_d \cdot x_q} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} - U_{d0} \cdot \frac{x_q - x'_d}{2 \cdot x'_d \cdot x_q} \cdot \cos 2\omega t \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}}$$

Відповідно до вищенаведеної формулою коефіцієнти I_∞ , I_1 , I_2 , I'_{ce} мають значення:

$$I_\infty = \frac{E_{q0}}{x_d}, \quad I_1 = -U_{q0} \cdot \frac{x'_d + x_q}{2 \cdot x'_d \cdot x_q}$$

$$I_2 = -U_{d0} \cdot \frac{x_q - x'_d}{2 \cdot x'_d \cdot x_q}, \quad I'_{ce} = \left(\frac{E'_{q0}}{x'_d} - \frac{E_{q0}}{x_d} \right)$$

Фізична інтерпретація процесу:

Отриманий вираз для обчислення миттєвого струму статора може бути велими чітко пояснено з фізичної точки зору при розгляді КЗ явнополюсної синхронної машини бездемпферних обмоток. При КЗ в ланцюзі статора виникають періодичний і аперіодичний струми КЗ. Розглянемо окремо їх вплив на обмотку збудження і її реакцію.

Магнітний потік від аперіодичної складової струмів трьох фаз статора нерухомий в просторі і в обмотці збудження наводить ЕРС синхронної частоти, яка створює в обмотці струм тієї ж частоти.

В результаті виникає пульсуючий магнітний потік, нерухомий щодо ротора. Пульсуючий потік можна розкласти на два потоки: один обертається в ту ж сторону, що і ротор, другий - в зворотному напрямку. Другий буде нерухомий щодо статора і частково компенсувати викликав його потік, перший щодо статора буде обертатися з подвоєною швидкістю і наводити в статорі струми подвійної частоти.

Всі отримані вирази справедливі і при КЗ у зовнішньому ланцюзі. Щоб користуватися цими співвідношеннями треба до опорів генератора додати опір зовнішнього ланцюга $x_E = x_e + x_{en}$, $R_E = R + R_{en}$ і в якості U_{d0} , U_{q0} приймати напруги в даній точці КЗ.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Три періодичних струми статора викличуть загальний магнітний потік, що обертається із синхронною швидкістю і нерухомий щодо ротора. Оскільки стала-ся раптова зміна цього потоку, що згідно із законом Ленца в обмотці збудження повинен навести додатковий струм збудження, який викличе магнітний потік обмотки ротора, спрямований проти м.п. статора. Оскільки цей струм - в обмотці збудження - вільний і він не підтримується зовнішніми ЕРС, то поступово він буде затухати - це аперіодичний струм.

Оскільки струм в обмотці збудження пропорційний ЕРС E_q (Де ЕРС х.х.), то, якщо знехтувати змінним струмом в обмотці збудження ЕРС E_q буде змінюватися таким же чином як і струм i_{fa} .

Струм статора. Періодичний струм i_n загасає з постійною часу T'_d . Аперіодичний загасає з постійною T_a (Обумовлена активним опором R статора). Струм подвійної частоти i_{ω_2} - загасає з постійною часу T_a .

Струми ротора. Періодичний загасає з постійною T_a (Він викликаний аперіодичним струмом статора). Аперіодичний загасає з постійною T'_d (Викликаний періодичним струмом статора).

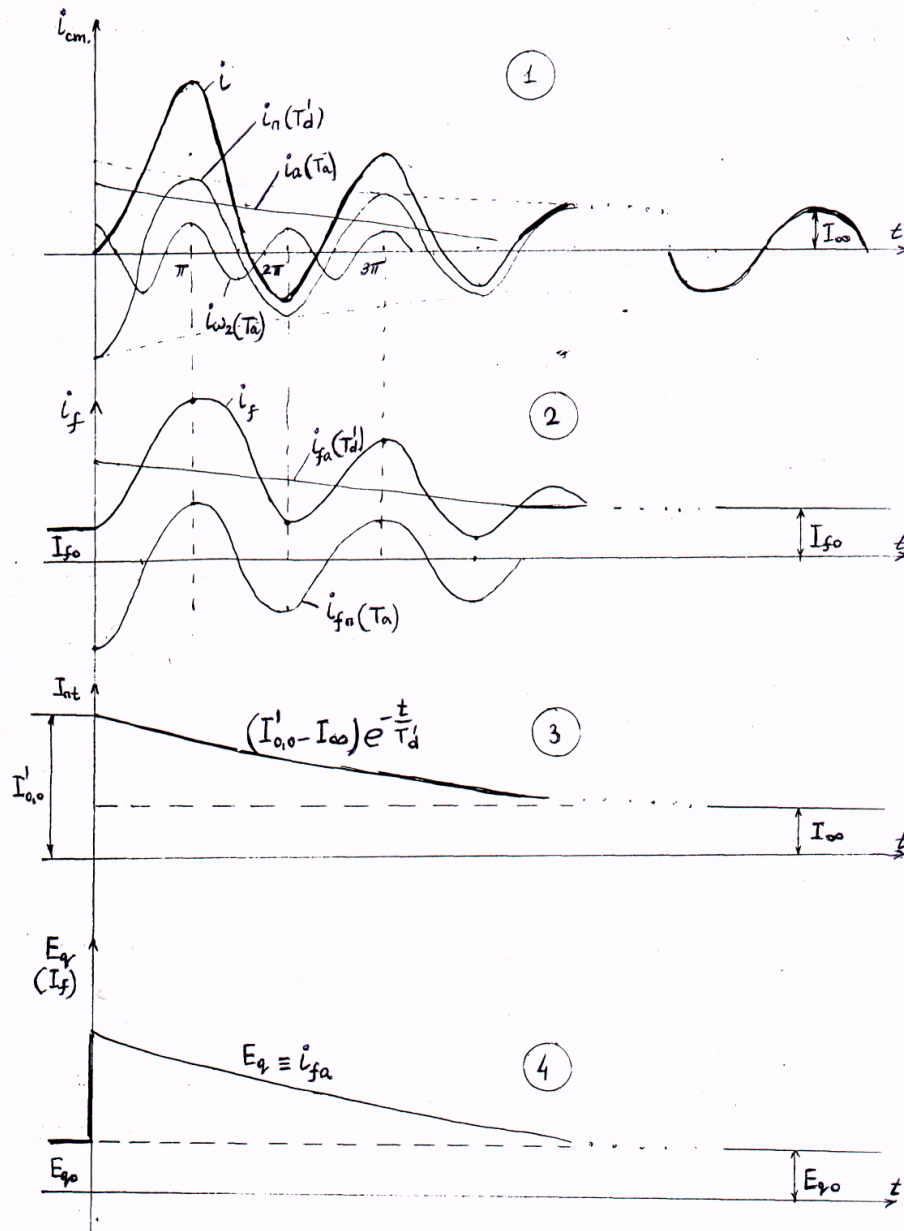
Пояснення до рис.3.1:

1 і 2 - графіки зміни миттєвих струмів статора і ротора. Слід зазначити, що періодичний струм статора - також загасаючий, тому що розглядається джерело обмеженою потужності.

3 - показує зміну діючого значення періодичної струму статора якщо знехтувати i_{ω_2} , i_a

4 - показує зміну струму збудження, якщо знехтувати періодичної складової точно також буде змінюватися і ЕРС E_q .

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Видно що E_q - є змінною величиною.

Вплив АРЗ при короткому замиканні. Принципи роботи релейного форсування.

Розглянемо автоматичне регулювання збудження для випадку, коли збудник має самозбудження, тобто маємо електромашинний збудник з самозбудженням.

Крім того, передбачається використання найбільш поширеного і простого способу швидкодіючого підвищення збудження - релейного форсування.

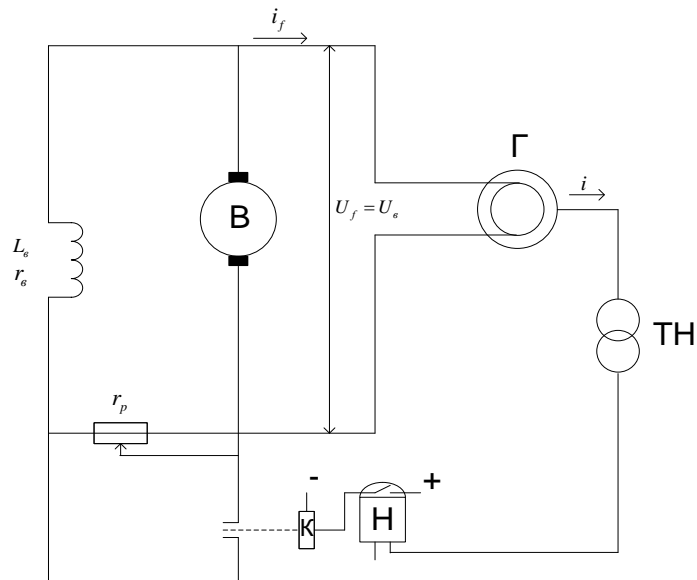


Рис.3.2 - Принципова схема релейного форсування

Принципова схема релейного форсування представлена на рис. 3.2. При зниженні напруги синхронної машини до деякого допустимого рівня (85÷90%) реле напруги H замикає ланцюг контактора K , який в свою чергу замикає реостат r_p ланцюга збудження (шунтовий реостат) збудника, в результаті чого настає підйом збудження до граничної величини.

У початковий момент короткого замикання в силу інерції магнітних потоків, зчеплених з обмотками, ніякого впливу АРЗ, природно, бути не може. Подальше прояв АРЗ позначається в зростанні струму збудження і пов'язаних з ним складових струмів статора.

Цей процес протікає відносно повільно, в силу чого він призводить до зміни практично тільки ЕРС обертання статора і отже, викликаній нею періодичної складової струму статора. Аперіодична і пов'язана з нею друга гармоніка струму статора залишаються тими ж що і при відсутності АРЗ, що дозволяє їх враховувати при подальшому розгляді даного питання.

Перехідний процес в ланцюзі збудника:

Розглянемо перехідний процес в ланцюзі збудника і ланцюги збудження генератора.

Перехідний процес збудника може бути описаний таким рівнянням, що враховує характеристику холостого ходу і рівняння рівноваги ЕРС в ланцюзі обмотки збудження збудника:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$U_e = r_e \cdot i_e + \frac{d\psi_e}{dt}$$

$U_e = f(i_e)$ - характеристика холостого ходу.

Де ψ_e - результуюче потокощеплення обмотки збудження збудника, яке при сталості індуктивностей пропорційно i_e .

$U_e = f(i_e)$ - характеристика холостого ходу машини.

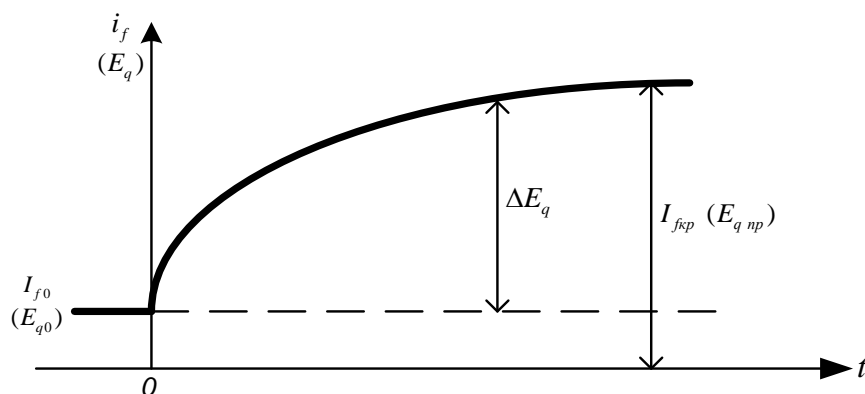
Рішення цього рівняння досить складно в силу того, що залежність $U_e = f(i_e)$ - нелінійна. Тому при вирішенні цього рівняння застосовуємо метод графічного інтегрування.

Характеристика $U_e = f(i_e)$ залежить від магнітних властивостей самого збудника.

У першому наближенні цю складну закономірність замінюють експоненційною функцією з деякою постійною часу T_e . Вважаючи, що напруга на затискачах збудника U_e дорівнює напрузі, що додається до кілець ротора генератора, тобто напрузі U_f :

$$U_e = U_f = U_{f0} + (U_{fnp} - U_{f0}) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_e}}) = U_{f0} + \Delta U_{fnp} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_e}})$$

У першому наближенні зміна струму збудження генератора можна уявити експоненційною залежністю з постійною часу T_e (0.3–0.4с):



Враховуючи що $E_q = x_{ad} \cdot i_f$ такий же характер зміни матиме і синхронна ЕРС:

$$E_q = E_{q0} + (E_{qnp} - E_{q0}) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_e}})$$

або в операторній формі:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$E_q = E_{q0} + \frac{1}{1 + p \cdot T_e} \cdot (E_{qnp} - E_{q0}) = E_{q0} + \Delta E_q$$

Зміна синхронної ЕРС за рахунок дії АРЗ:

$$\Delta E_q = \frac{1}{1 + p \cdot T_e} \cdot (E_{qnp} - E_{q0})$$

Струм КЗ з урахуванням АРЗ:

Зміни синхронної ЕРС за рахунок дії АРЗ:

$$\Delta E_q = \frac{1}{1 + p \cdot T_e} \cdot (E_{qnp} - E_{q0})$$

При розгляді періодичної складової нами було отримано вираз для струму:

$$i_d = \frac{p \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + E_q}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d} = \frac{p \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + (E_{q0} + \Delta E_q)}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d} = \underbrace{\frac{p \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + E_{q0}}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d}}_{I_{(без АРЗ)}} + \underbrace{\frac{p \cdot T_{f0} \cdot e'_q(0) + \Delta E_q}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d}}_{\Delta I_{(АРЗ)}}$$

Це Струм КЗ без АРЗ. Оскільки ми розглядаємо збільшення струму за рахунок дії АРЗ, тобто за рахунок збільшення ΔE_q , То можна записати:

$$\Delta i_d = \frac{\Delta E_q}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d} \quad (\text{Перша складова не враховується, тому що } e'_q(0) = const \text{ і не}$$

залежить від дії АРЗ)

$$\text{тоді: } \Delta i_d = \frac{\Delta E_q}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d} = \frac{1}{x_d + p \cdot T_{f0} \cdot x'_d} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot T_e} \cdot (E_{qnp} - E_{q0})$$

винесемо x_d і врахуємо, що $T'_d = T_{f0} \cdot \frac{x'_d}{x_d}$:

$$\Delta i_d = \frac{1}{1 + p \cdot T'_d} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot T_e} \cdot \frac{1}{x_d} \cdot (E_{q' \delta} - E_{q0}) = \frac{1}{1 + p \cdot T'_d} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot T_e} \cdot (I_{\infty \delta} - I_{\infty})$$

Опускаючи знак («-»)

$$\text{де } I_{\infty np} = \frac{U_{fnp}}{r} \cdot \frac{x_{ad}}{x_d} = \frac{E_{qnp}}{x_d}; \quad I_{\infty} = \frac{U_{f0}}{r} \cdot \frac{x_{ad}}{x_d} = \frac{E_q}{x_d}$$

Для цього операційного вираження є табличний оригінал:

$$\frac{1}{(1 + p \cdot T'_d) \cdot (1 + p \cdot T_e)} \doteq 1 - \frac{T'_d \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} - T_e \cdot e^{-\frac{t}{T_e}}}{T'_d - T_e}$$

З урахуванням цього виразу для збільшення струму статора за рахунок АРЗ буде:

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\Delta I_{d(APB)} = (I_{\infty np} - I_{\infty}) \cdot \left(1 - \frac{T'_d \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} - T_e \cdot e^{-\frac{t}{T_e}}}{T'_d - T_e} \right)$$

Тоді повне вираження для періодичної складової струму статора матиме

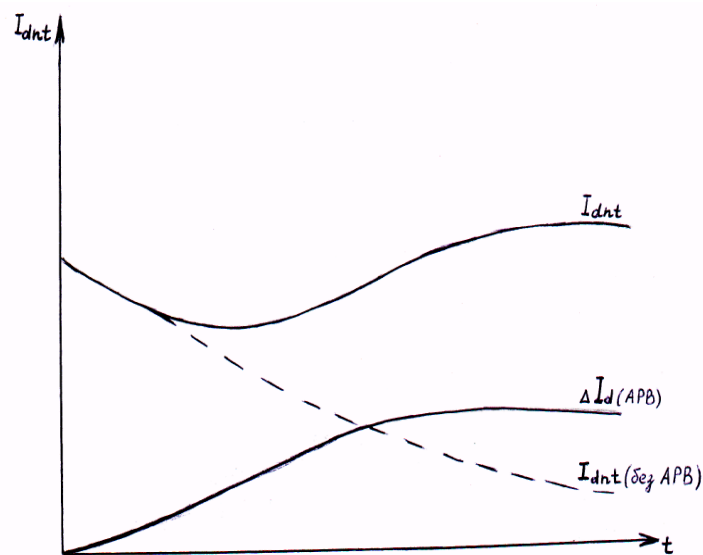
вигляд:

$$I_{dnt} = I_{dnt(\text{без APB})} \Delta I_{d(APB)} = I_{\infty} + (I'_{0,0} - I_{\infty}) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} + (I_{\infty np} - I_{\infty}) \cdot \left(1 - \frac{T'_d \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} - T_e \cdot e^{-\frac{t}{T_e}}}{T'_d - T_e} \right)$$

Розглянемо, як змінюється цей вислів, якщо застосовується безінерційні збудження (наприклад, тиристорне) для якого можна прийняти $T_e = 0$:

$$\begin{aligned} I_{dnt} &= I_{\infty} + (I'_{0,0} - I_{\infty}) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} + (I_{\infty np} - I_{\infty}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T'_d}} \right) = \\ &= I_{\infty} + I'_{0,0} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} - I_{\infty} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} + I_{\infty np} - I_{\infty np} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} - I_{\infty} + I_{\infty} \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} = I_{\infty np} + (I'_{0,0} - I_{\infty np}) \cdot e^{-\frac{t}{T'_d}} \end{aligned}$$

Графічна інтерпретація процесу (рис.3.4):



Графічна інтерпретація процесу

У початковий момент КЗ, як видно, дія АРЗ ледь помітно. Потім воно проявляється все інтенсивніше і далі приріст прагне до своїх значень.

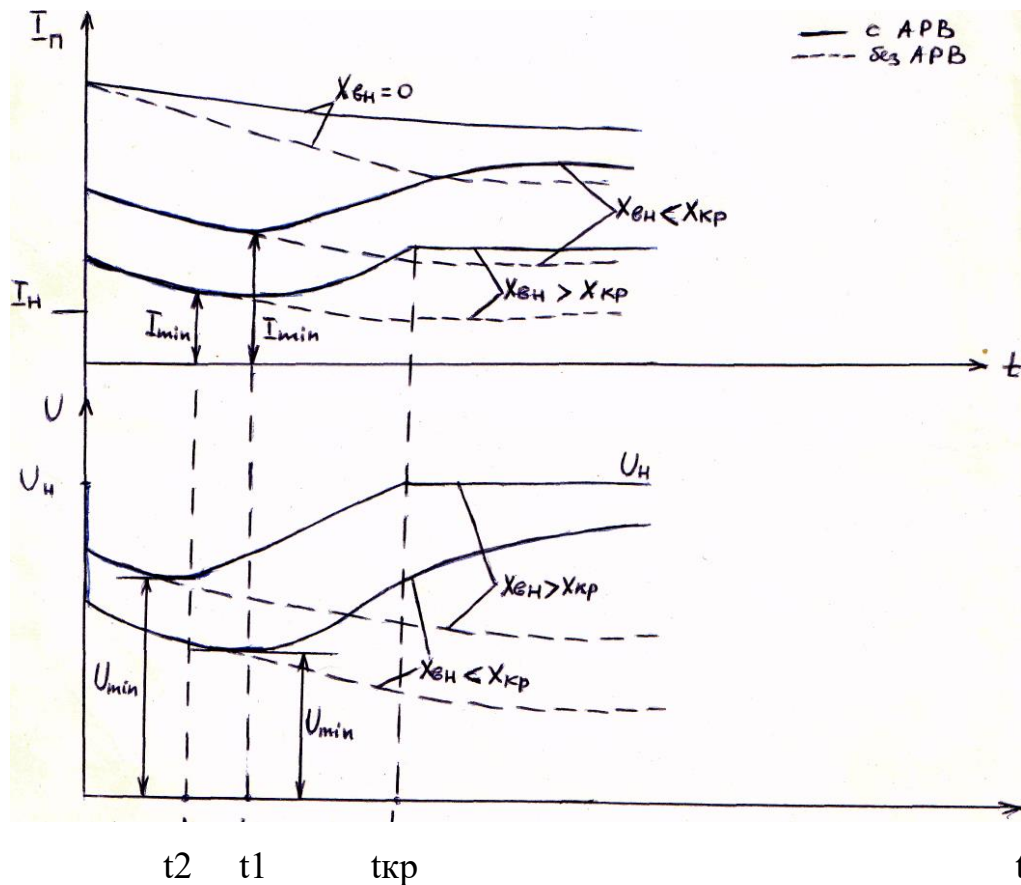


Рис.3.5 - Зміни періодичної складової струму статора при умовах $x_{gh} = 0$,

$$x_{gh} = x_{kp}, x_{gh} > x_{kp}.$$

На рис.3.5 наведені зміни періодичної складової струму статора при умовах $x_{gh} = 0$, $x_{gh} = x_{kp}$, $x_{gh} > x_{kp}$.

При малій віддаленості КЗ крива струму генератора з АРЗ проходить значно більш полого, зберігаючи вид затухаючої кривої. У міру збільшення віддаленості КЗ характер кривої струму змінюється. Після зниження до деякого мінімуму струм статора знову зростає, причому через деякий час може перевершити початковий струм КЗ.

Струм КЗ після зниження до деякого мінімуму знову постійно зростає, прагнучи до кінцевого значення, при цьому через відомий проміжок його значення можуть перевершити значення в початковий момент.

Знайдемо зовнішню реактивність при КЗ за якою початковий перехідний струм і сталий дорівнюватимуть

$$I'_{0,0} = I_{\infty np}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\frac{E'_{q0}}{x'_d + x'_{ен}} = \frac{E_{qnp}}{x_d + x'_{ен}}$$

Звідки
$$x'_{ен} = \frac{E'_{q0} \cdot x_d - E_{qnp} \cdot x'_d}{E_{qnp} - E'_{q0}}$$

2) При $x_{ен} > x'_{ен}$ сталий струм $I_{\infty np}$ більше початкового струму $I'_{0,0}$, причому найбільша відмінність між ними настає при $x_{ен} = x_{кр}$. З подальшим зростанням $x_{ен}$ різниця між ними знову зменшується.

При $x_{ен} > x_{кр}$ напруга через $t_{кр}$ (Критичний час) досягає нормального значення і далі залишається постійним. Відповідно струм при $t > t_{кр}$ також залишається незмінним і рівним $\frac{U_H}{x_{ен}}$.

Зі збільшенням віддаленості КЗ загасання і наростання струмів відбувається повільніше ($T'_d = T_{f0} \cdot \frac{x'_d + x_{ен}}{x_d + x_{ен}}$ і отже, з ростом $x_{ен}$ $T'_d \rightarrow T_{f0}$). Однак, якщо зниження напруги при цьому менше, його відновлення під дією АРЗ відбувається в більш короткий відрізок часу (хоча і з меншою швидкістю), тобто критичний час зменшується з ростом віддаленості КЗ.

Мінімум струму або напруги залежить від параметрів синхронної машини і віддаленості КЗ. Зі збільшенням віддаленості КЗ він настає раніше і в межі прагнучи до $t = 0$.

3.4 Визначення струму КЗ на шинах 330 кВ без регулятора збудження генератора

За базисну потужність приймемо значення потужності трансформатора, що підключений до шин 330 кВ $S_6 = 353$ МВА. За базисну напругу візьмемо $U_6 = 330$ кВ. Хс задається 1 в.о.

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{353}{\sqrt{3} \cdot 330} = 0.618 \text{ кА}$$

Опори генераторів представимо як синхронний опір X_d :

$$\bar{X}_{Г1*} = \bar{X}_{Г2*} = \frac{X_{d\%}}{100} \frac{S_6}{S_{H.G.}} = 1.915(\text{в.о})$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\bar{X}_{Г3*} = \bar{X}_{Г4*} = \bar{X}_{Г5*} = 1.907 \text{ (в.о)}$$

$$\bar{X}_{Г6*} = 2.195 \text{ (в.о)}$$

Опори трансформаторів:

$$\bar{X}_{Т1*} = \bar{X}_{Т2*} = \frac{U_K \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.T.}} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{353}{125} = 0.097 \text{ (в.о)}$$

$$\bar{X}_{Т3*} = \bar{X}_{Т4*} = \bar{X}_{Т5*} = \frac{U_K \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.T.}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{353}{125} = 0.311 \text{ (в.о)}$$

$$\bar{X}_{Т6*} = \frac{U_K \%}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{H.T.}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{353}{400} = 0.097 \text{ (в.о)}$$

Опір реактора:

$$\bar{X}_{P.C*} = X_P(O.M) \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{H.P.}^2} = 0.35 \cdot \frac{353}{(10)^2} = 0.371 \text{ (в.о)}$$

Опори автотрансформаторів:

$$\bar{X}_{AT1*} = \bar{X}_{AT2*} = \frac{U_{K(B-C)\%}}{100\%} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{HAT}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{353}{125} = 0.311 \text{ (в.о)}$$

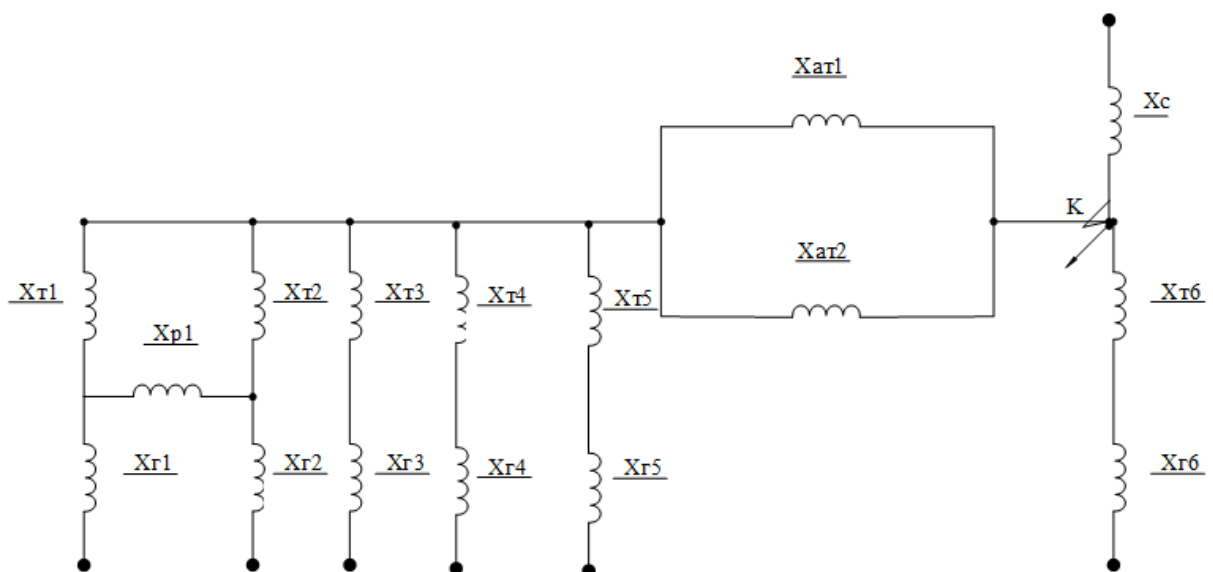


Рис.3.6 Схема заміщення ТЕЦ для розрахунку КЗ

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для розрахунку струмів КЗ нам необхідно знати опір системи X_C . Тому згортаємо схему відносно точки K_C , що знаходиться перед виходом в систему. Так ми знайдемо X_C .

Згортаємо схему відносно точки КЗ шляхом еквівалентних перетворень:

$$X_1 = \frac{X_{r1} \cdot X_{r2}}{X_{r1} + X_{r2} + X_{p1}} = \frac{1.915 \cdot 1.915}{1.915 + 1.915 + 0.371} = 0.873 (\text{в. о.})$$

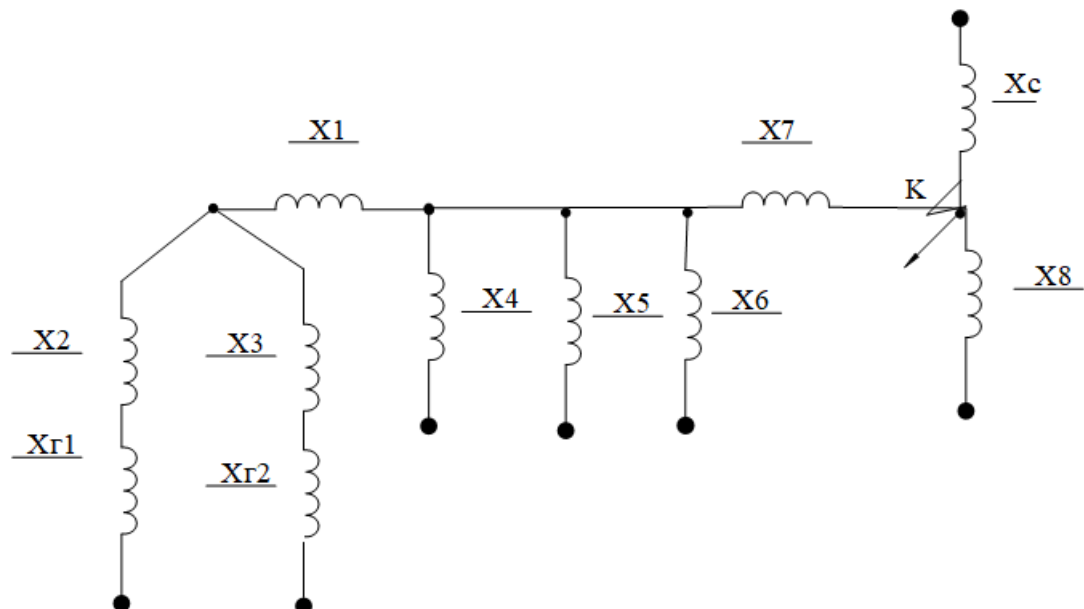
$$X_2 = \frac{X_{r2} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{r2} + X_{p1}} = \frac{1.915 \cdot 0.371}{1.915 + 1.915 + 0.371} = 0.169 (\text{в. о.})$$

$$X_3 = \frac{X_{r1} \cdot X_{p1}}{X_{r1} + X_{r2} + X_{p1}} = \frac{1.915 \cdot 0.371}{1.915 + 1.915 + 0.371} = 0.169 (\text{в. о.})$$

$$X_4 = X_5 = X_6 = X_{r3} + X_{T3} = X_{r4} + X_{T4} = X_{r5} + X_{T5} = 1.907 + 0.311 = 2.218 (\text{в. о.})$$

$$X_7 = \frac{X_{AT1}}{2} = \frac{0.311}{2} = 0.155 (\text{в. о.})$$

$$X_8 = X_{r6} + X_{T6} = 2.195 + 0.097 = 2.292 (\text{в. о.})$$

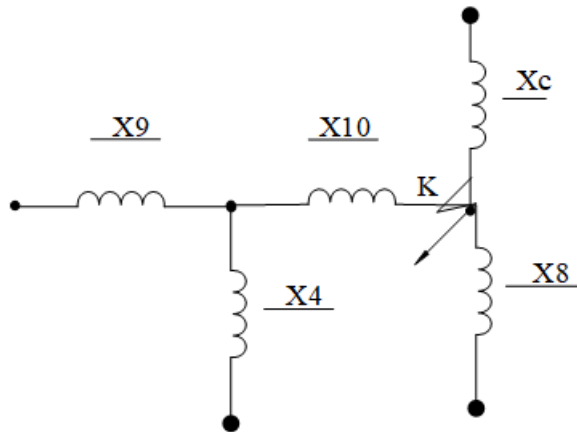


$$X_9 = \frac{(X_{r1} + X_{T2}) \cdot (X_{r2} + X_{T3})}{X_{r1} + X_{T2} + X_{r2} + X_{T3}} + X_1 =$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		84

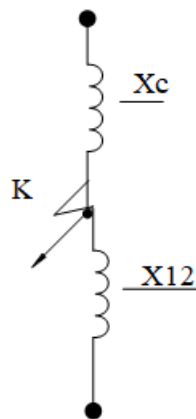
$$= \frac{(1.915 + 0.097) \cdot (1.915 + 0.311)}{1.915 + 0.097 + 1.915 + 0.311} + 0.873 = 1.93 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{10} = \frac{X_5 \cdot X_6}{X_5 + X_6} + X_9 = \frac{0.083 \cdot 0.083}{0.083 + 0.083} + 1.93 = 3.039 \text{ (в. о.)}$$



$$X_{11} = \frac{X_9 \cdot X_4}{X_9 + X_4} + X_{10} = \frac{1.93 \cdot 2.218}{1.93 + 2.218} + 3.039 = 4.071 \text{ (в. о.)}$$

$$X_{12} = \frac{X_{11} \cdot X_8}{X_{11} + X_8} = \frac{4.071 \cdot 2.292}{4.071 + 2.292} = 1.466 \text{ (в. о.)}$$



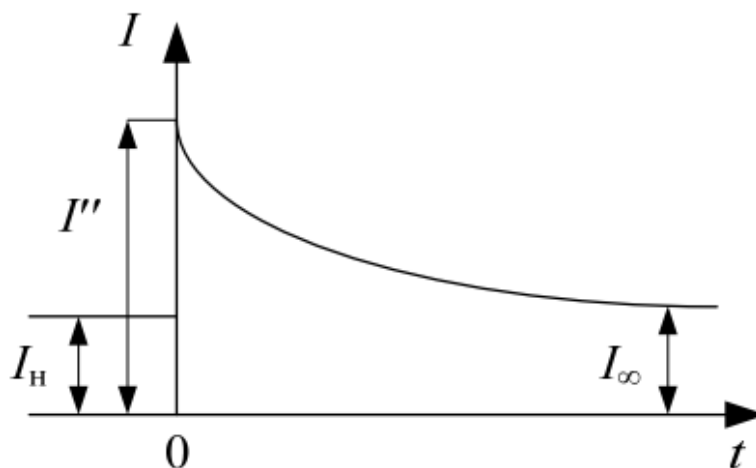
$$X_{eKB} = \frac{X_c \cdot X_{12}}{X_c + X_{12}} = \frac{1 \cdot 1.466}{1 + 1.466} = 0.595 \text{ (в. о.)}$$

$$E_{*\infty} = \sqrt{(U_* \cos \varphi)^2 + (U_* \sin \varphi + I_{*H} x_d)^2}$$

$$E_{*\infty} = \sqrt{(1 \cdot 0.85)^2 + (1 \cdot 0.527 + 1 \cdot 2.195)^2} = 2.852 \text{ (в. о.)}$$

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		85

$$I_{кз} = \frac{E_{*\infty}}{X_{екв}} \cdot I_6 = \frac{2.852}{0.595} \cdot 0.618 = 2.964 \text{ кА.}$$



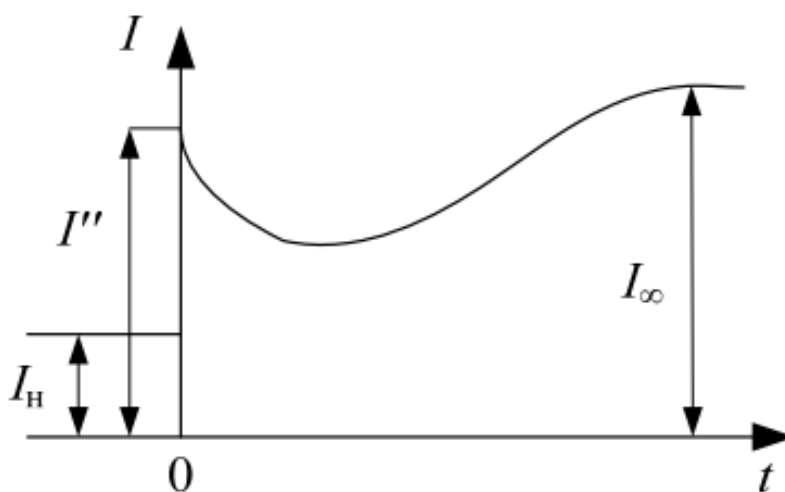
Генератор без АРЗ

Визначення струму КЗ за наявності регулятора збудження

При наявності регулятора збудження збільшуються значення ЕРС, тому і струм короткого замикання відповідно також збільшується. Приймаємо що кратність граничного збудження $K_\phi = 2$, це означає що $E_{*\infty}$ буде в 2 рази більше за рахунок регулятора, тоді:

$$E_{*\infty\text{пред.}} = K_\phi * E_{*\infty} = 2 * 2.852 = 5.703 \text{ (в. о.)}$$

$$I_{кз} = \frac{E_{*\infty\text{пред.}}}{X_{екв}} \cdot I_6 = \frac{5.703}{0.595} \cdot 0.618 = 5.928 \text{ кА}$$



Генератор з АРЗ

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		86

Висновки до третього розділу:

Перехідний процес в електричній мережі, в якій встановлені генератори з АРЗ, відрізняється від перехідного процесу при КЗ в мережі з генераторами без АРЗ. На перехідний процес обумовлений КЗ, накладається перехідний процес в системі збудження синхронного генератора.

При наявності регулятора збудження збільшуються значення ЕРС, тому і струм короткого замикання відповідно також збільшується.

Струм порушення синхронної машини системою АРЗ не може підніматися нескінченно. Він обмежений граничним або стельовим значенням. Пов'язано це з температурним режимом обмотки збудження і зникненням ефекту регулювання за рахунок насичення магнітної системи генератора.

У початковій стадії перехідного процесу осцилограми струмів з наявним АРЗ на генераторах та відсутнім АРЗ на генераторах практично однакові, так як їх характер визначається тільки лише загасанням вільних струмів, а збільшення струму збудження від дії АРЗ в силу магнітної інерції практично відсутня. Надалі при відсутності АРЗ, у міру загасання вільного струму, крива переходить в синусоїдальну нового усталеного режиму. При наявності АРЗ амплітуда струму знову зростає, прагнучи до сталого режиму, який природно буде більше, ніж при відсутності АРЗ.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		87

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Згідно завдання, спроектована ТЕЦ потужністю 720 МВт з генераторами ТВФ-63-2УЗ, ТВФ-120-2УЗ, ТГВ-300-2УЗ:

1. Вибрано розподільчий пристрій генераторної напруго 10,5 кВ для живлення місцевого навантаження та відкриті розподільчі пристрої 110 кВ та 330 кВ.
2. Обрані трансформатори зв'язку, блочні трансформатори, трансформатори власних потреб та резервні трансформатори.
3. Зроблений розрахунок струмів короткого замикання і виконано вибір та перевірка комутаційних апаратів та електричного обладнання.
4. У спеціальному питанні розглянутий аналіз впливу регулятора збудження генератора на струм короткого замикання. При наявності регулятора збудження збільшуються значення ЕРС, тому і струм короткого замикання відповідно також збільшується. Досліджено та підтверджено, що при наявності регулятора збудження збільшуються значення ЕРС, тому і струм короткого замикання відповідно також збільшується.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		88

Список використаної літератури

1. Паспортные данные турбогенераторов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.online-electric.ru/dbase/turbogen.php>.

2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електричні системи та мережі»(Електротехнічна частина) / Уклад.: В.М. Сулейманов, В.В. Чижевський, О.М. Янковська- К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2009. – 85 с.

3. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций. - М.: «Энергия», 1976. – 157 с.

4. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування електричних станцій та підстанцій». Частина 1 / Уклад.: П.Л.Денисюк, - К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2003. – 73 с.

5. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування електричних станцій та підстанцій». Частина 2 / Уклад.: П.Л.Денисюк, - К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2004. – 36 с.

6. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування електричних станцій та підстанцій». Частина 3 / Уклад.: П.Л.Денисюк, Г.М.Гаєвська, Л.П.Федосенко, - К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2004. – 13 с.

7. ВГГ-10 – вакуумный выключатель [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://forca.ru/spravka/vysokovoltnye-vyklyuchateli/vgg-10-vakuumnyy-vyklyuchatel.html>.

8. Вакуумный выключатель ТИП VAN 13 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://eleron.info/production/product.php?GROUP=99&TOVAR=371>.

9. Основи проектування теплових та гідравлічних електростанцій: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи /Укл.: П.Л.Денисюк, Є.І.Бардик, Р.В.Вожаков./ – К.: НТУУ “КПІ”, 2012 – 46 с.

10. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулін. Электрообладнання станції та підстанції. М.: Энергоатомиздат, 1967-648с.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. Гук Ю.Б., Кантан В.В., Петрова С.С. Проектирование электрической части станций и подстанций. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 312 с., ил. –Библиогр.: с. 305–307. –23000 экз.

12. Андреев Д.А., Назарычев Д.А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей // Вестник ИГЭИ. – 2008. - Вып.5. – С.1

13. Руководство по эксплуатации. Силовой выключатель 3AP1 FG – Berlin: Siemens Aktiengesellschaft, 2005. – 113 с.

14. Выключатели колонковые элегазовые АББ - Справочник покупателя – LUDVIKA,Sweden: ABB Power Technologies, 2004. – 100 с.

					141.ЕТ-7106.004.БР	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		