

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ С. О. Кудря

“ ___ ” _____ 2020 р.

Дипломний проект

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» по спеціалізації «Електричні станції»

на тему: **Моделювання динамічних режимів власних потреб
теплоелектроцентралі потужністю 980 МВт**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-г61-1

_____ Карпець Ілля Вадимович _____

Керівник професор, д.т.н., Костерев М. В. _____

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 – 2020 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Спеціалізація – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ С. О. Кудря

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

_____ Карпець Ілля Вадимович

1. Тема проєкту: Моделювання динамічних режимів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 980 МВт

керівник проєкту Костерев Микола Володимирович, професор, д.т.н.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		2

Анотація

Дипломний проєкт містить 85 сторінки, 21 рисунок, 28 таблиць, 3 аркуші графічної частини.

У даному дипломному проєкті передбачається проєктування електричної частини теплоелектроцентралі потужністю 980 МВт. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору головної схеми електричних з'єднань електростанції. Обрано варіант, при якому: три генератори потужністю 60 МВт приєднано до ГРП-10,5 кВ; блочний генератор потужністю 100 МВт приєднаний до шин РП-110 кВ; блочні генератори потужністю 100 та 300 МВт приєднані до шин РП-330 кВ; також до автотрансформатора підключено генератор потужністю 300 МВт.

Побудована розрахункова схема для визначення значень струмів короткого замикання у заданих точках. За отриманими результатами розрахунків струмів короткого замикання перевірено електрообладнання на стійкість до термічної та електродинамічної дії струмів короткого замикання.

Промодельовано та досліджено динамічний процес самозапуску АД власних потреб ТЕЦ при відключенні основного трансформатора. Представлено методи розрахунку самозапуску та вибігу двигунів.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Annotation

This thesis project contains 85 pages, 21 figures, 28 tables, 3 sheets of graphics.

This diploma project envisages the design of the electrical part of the thermal power plant with a capacity of 980 MW. Feasibility study of the choice of the main scheme of electrical connections of the power plant is carried out. A variant was chosen in which: three generators with a capacity of 60 MW were connected to a 10.5 kV hydraulic fracturing plant; a block generator with a capacity of 100 MW is connected to the RP-110 kV busbars; block generators with a capacity of 100 and 300 MW are connected to RP-330 kV buses; also a 300 MW generator is connected to the autotransformer.

The calculation scheme for determination of values of short-circuit currents in the set points is constructed. According to the results of calculations of short-circuit currents, electrical equipment was tested for resistance to thermal and electrodynamic action of short-circuit currents.

The dynamic process of self-starting of BP of own needs of CHP at disconnection of the main transformer is modeled and investigated. Methods of calculation of self-starting and running out of engines are presented.

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	9
Вступ	10
Розділ 1	11
Вибір головної схеми електричних з'єднань	11
1.1. Вибір структурної схеми	12
1.2 Вибір основного обладнання станції	16
1.2.1 Вибір генераторів	16
1.2.2 Вибір трансформаторів зв'язку	16
1.2.3 Вибір блочного трансформатора	18
1.2.4 Вибір автотрансформаторів зв'язку	19
1.2.5 Вибір блочного автотрансформатора	21
1.2.6 Вибір секційного реактору	21
1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів	22
1.4. Вибір схем електричних з'єднань електричних апаратів	25
1.4.1 Вибір схеми ВРП 110 кВ	25
1.4.3. Вибір трансформаторів та схеми електропостачання власних потреб (в.п.)	28
Висновки	32
Розділ 2	33
Розрахунок струмів короткого замикання та вибір електричних апаратів	33
2.1. Розрахунок струмів короткого замикання	34
2.1.1. Складання заступної схеми. Визначення опору системи	34
2.1.2. Розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10,5 кВ..	38

					141.61101.004.БР.3			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Моделювання динамічних режимів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 980 МВт Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Карпець І.В.					7	85
Перевір.		Костерев М.В.						
Н. Контр.		Кацадзе Т.Л.						
Затверд.		Кудря С. О.						НТУУ «КПІ ім.Ігоря Сікорського», кафедра відновлюваних джерел енергії, гр. ЕТ-г61-1

2.2. Вибір і перевірка обладнання розрахункового відгалуження ..	47
2.2.1. Вибір лінійного реактора	47
2.2.2. Вибір вимикача	51
2.2.3. Вибір роз'єднувача на лінії місцевого навантаження	52
2.2.4. Вибір кабелю	52
2.2.5. Вибір вимірювального трансформатора струму	54
2.2.6. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги	56
Висновок	58
Розділ 3	59
Метод розрахунку самозапуску власних потреб ТЕЦ при відмові трансформатора	59
3.1. Сучасний аналіз проблеми само-запуску двигунів ВП	60
3.2 Метод розрахунку самозапуску двигунів власних потреб.	65
3.3 Моделювання самозапуску асинхронного двигуна	74
Висновки:	81
Загальні висновки до дипломного проєкту:	82
Список використаної літератури	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПЛ – повітряні лінії

ЛЕП – лінії електропередач

ВП – власні потреби

РПН – регулювання під навантаженням

РП – розподільчий пристрій

ВРП – відкритий розподільчий пристрій

ГРП – генераторний розподільчий пристрій

ЕС – електрична система

ЕЕС – електроенергетична система

МН – місцеве навантаження

АТ – автотрансформатор

ЛР – лінійний реактор

СР – секційний реактор

КЗ – коротке замикання

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Вступ

Відповідно до цього завдання ми проектуємо електростанцію типу ТЕЦ.

ТЕЦ - це електростанція, яка використовує пар, який виробляється в парогенераторі для виробництва електроенергії та тепла.

Радіус передачі тепла від ТЕЦ обмежений, тому доцільно транспортувати гарячу воду на відстань до 35 км, а пар - до 8 - 12 км. При цьому майданчик ТЕЦ знаходиться в центрі теплових навантажень з урахуванням перспектив розвитку споживачів енергії. Будівельний майданчик горизонтальний.

Електрична та теплова енергія від комбінованого виробництва тепла та електроенергії отримується спалюванням викопного палива в котлах, які виробляють пар або тепло. Пар іде до турбін, які виробляють електроенергію. Частина пари, що пройшла через кілька ступенів турбінного агрегату, направляється на виробничі потреби підключених споживачів або на нагрівання води. Вода надходить у труби теплових мереж, де вона надходить до систем опалення компаній, організацій чи житлових будинків. Вид палива – вугілля. Максимальна відстань від місця видобутку вугілля, до місця будівництва станції не повинна перевищувати 250 км.

Оскільки станція розташована недалеко від міста, градирні використовуються для охолодження води атмосферним повітрям.

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

Розділ 1

Вибір головної схеми електричних з'єднань

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

1.1. Вибір структурної схеми

При виборі структурної схеми потрібно врахувати наступні правила:

- 1) Найбільш економічний режим роботи електростанції – блочний.
- 2) Місцеве навантаження повинне бути забезпечене енергією, яка виробляється на збірних шинах.

Електрична схема станції повинна задовольняти наступні вимоги:

- відповідність умовам роботи станції в енергосистемі, а також відповідність технологічній схемі;
- легкість експлуатації, а саме: простота і наочність схеми; мінімальна кількість переключень, пов'язаних зі зміною режиму; придатність електричного обладнання до ремонту без порушення режиму установки;
- легкість споруди електричної частини з урахуванням черговості введення в експлуатацію генераторів, трансформаторів і ліній;
- можливість автоматизації установки в економічно цілісному обсязі;
- достатня, економічно виправдана ступінь надійності.

На генераторній напрузі ТЕЦ широке поширення знайшли схеми з двома системами збірних шин і з секціонуванням робочих шин. Власні потреби і навантаження живляться від збірних шин окремими лініями. Кожне приєднання підключається до збірної шині через розвилку двох шинних роз'єднувачів, що дозволяє здійснювати роботу як на одній, так і на іншій системі шин (один з шинних роз'єднувачів нормально відключений).

Перевагою схеми з двома системами збірних шин є можливість ремонту будь-якої системи шин без відключення споживачів і джерел. Іншою перевагою є те, що при к.з. на одній системі шин споживачі втрачають живлення тільки на час перемикання на резервну систему шин. Наявність шиноз'єднувальних вимикачів дозволяє виконувати всі необхідні перемикання з робочою системою шин на резервну. До того ж у цій схемі можна використовувати шиноз'єднувальний вимикач для заміни вимикача будь-якого приєднання.

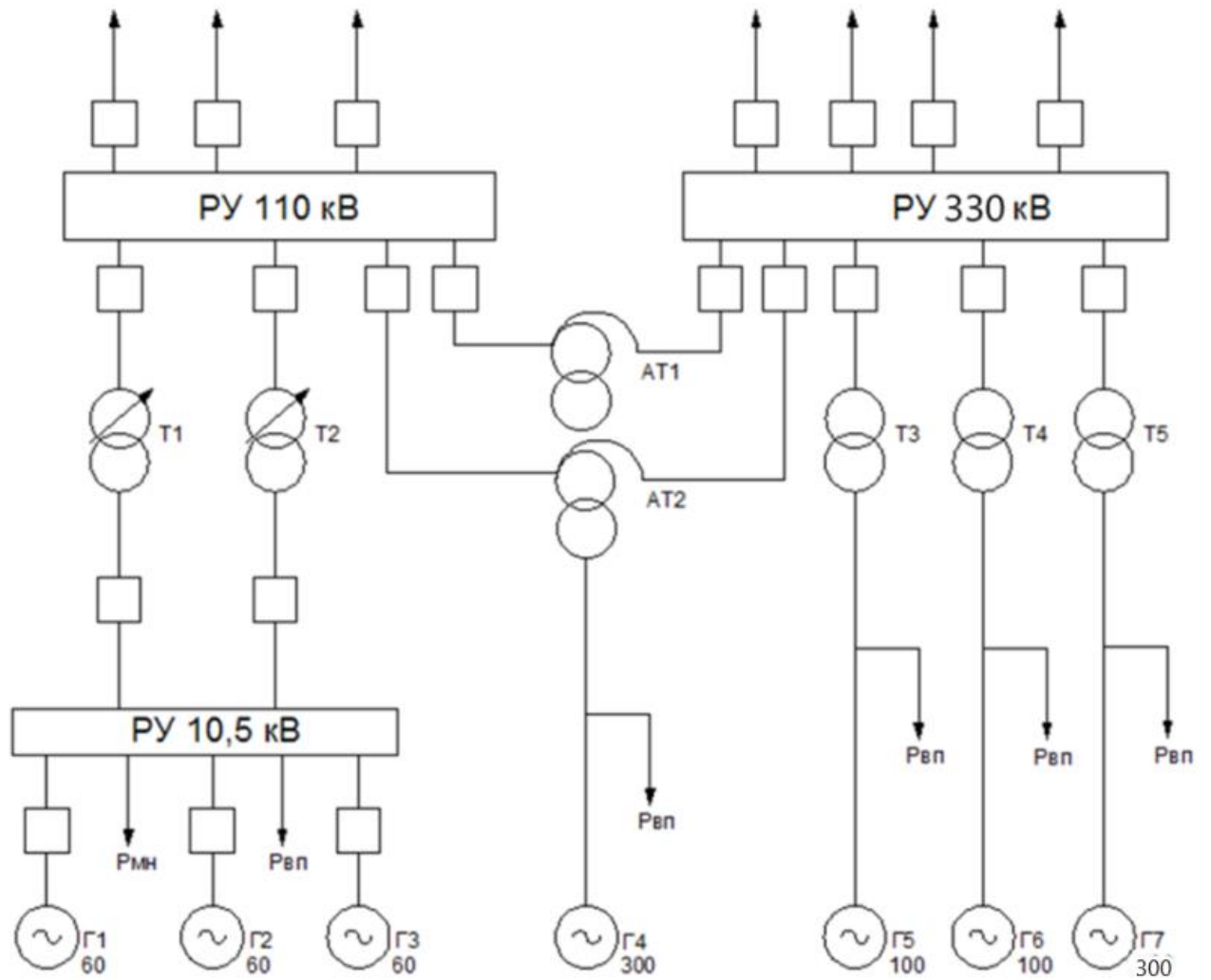
Розглянемо дві оптимальні схеми, які є надійними та максимально оптимізованими під наше завдання.

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

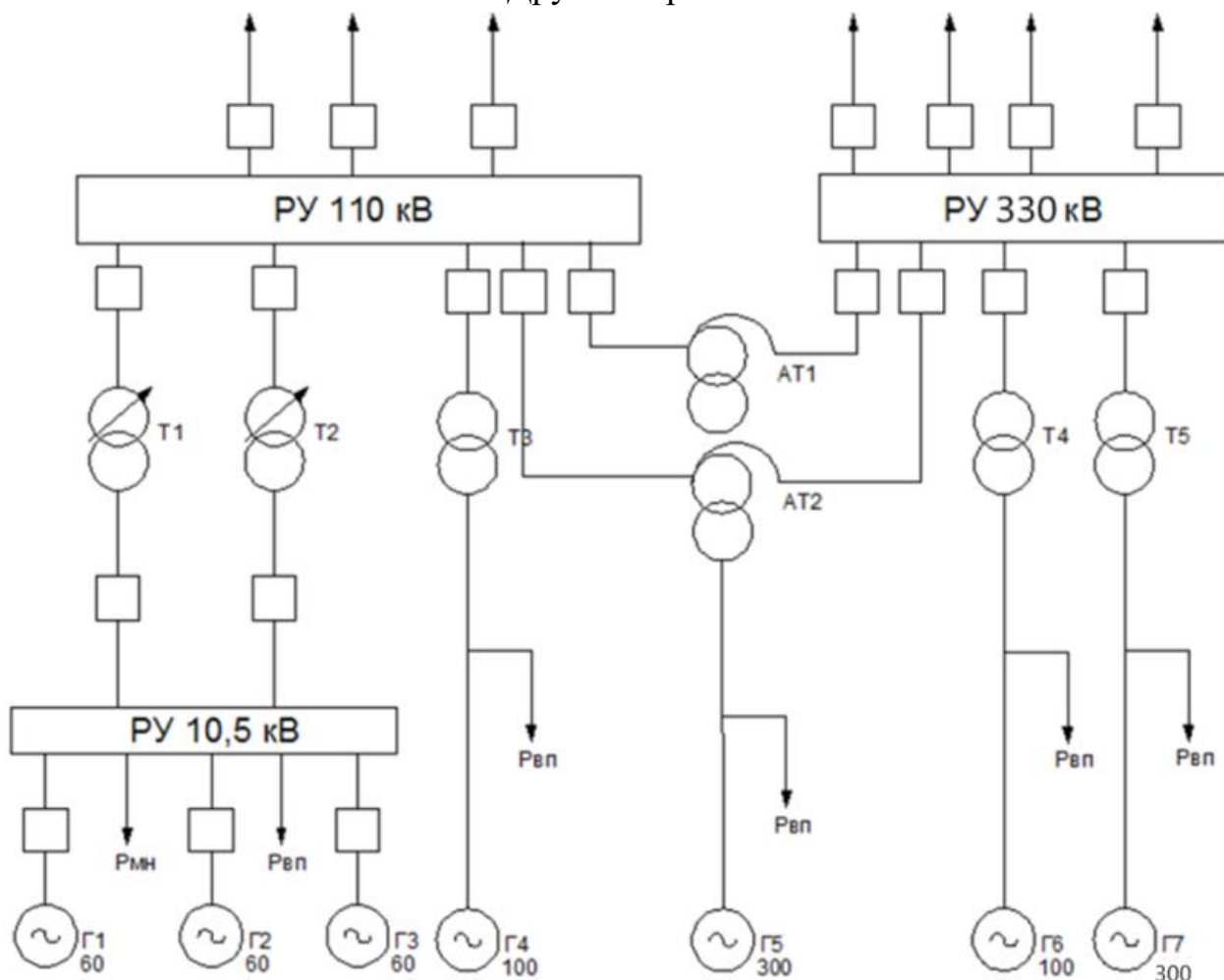
Структурні схеми всіх варіантів подані нижче, де показані генератори Г, розподільні пристрої вищої напруги РП і нижчої ГРП, місцеве навантаження Рмн, трансформатори зв'язку Т1 і Т2, блокові трансформатори Т3, Т4, Т5, а також автотрансформатори АТ. У першому варіанті три генератори по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, 3 генератори на 100 МВт приєднані до РП 330 кВ та генератор 300 МВт приєднаний до АТ2 за блоковим принципом. У другому варіанті три генератори по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, 1 генератор на 100 МВт приєднаний до РП 110 кВ за блоковим принципом, 2 генератори на 100 МВт приєднані до РП 330 кВ та генератор 300 МВт приєднаний до АТ2 за блоковим принципом.

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

Перший варіант схеми



Другий варіант схеми



1.2 Вибір основного обладнання станції

1.2.1 Вибір генераторів

Існують стандартні потужності генераторів: 30,60,100,300 МВт. Оскільки за умовою завдання, на збірні шини повинні працювати 2 генератори (а їх потужність не повинна перевищувати 100МВт), тому вибираємо 3 генератори типу ТВФ-63-2УЗ [4] для збірних. Для роботи в блоці вибираємо 2 блочних ТВФ-120-2УЗ і 2 ТВФ-300-2УЗ [4] паспортні данні яких приведенні в табл.1.1:

Таблиця 1.1. Номінальні параметри генераторів

	ТВФ-63-2УЗ	ТВФ-120-2УЗ	ТВФ-300-2УЗ
Номінальна повна потужність $S_{НОМ}$, МВА	78,75	125	353
Номінальна активна потужність $P_{НОМ}$, МВт	63	100	300
Номінальна напруга $U_{НОМ}$, кВ	10,5	10,5	20
Номінальний струм $I_{НОМ}$, кА	4,33	6.875	10,2
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{НОМ}$	0,8	0,8	0,85
Надперехідний опір X_d'' , %	15,3	19,2	19,5
Номінальна частота обертання $n_{НОМ}$, об/хв	3000	3000	3000
Вартість, тис. грн	3301,58	4444,44	11428,57

1.2.2 Вибір трансформаторів зв'язку

Вибір трансформаторів зв'язку виконаємо в табличній формі. При виборі трансформаторів зв'язку потрібно врахувати, що потужність їх повинна бути достатньою для передачі в систему надлишкової потужності ТЕЦ при максимальному тепловому споживанні та мінімальному електричному навантаженні району, з іншого боку має бути забезпечення живлення району від системи при максимальному електричному навантаженні і мінімальному тепловому споживанні. Рекомендується для цього режиму враховувати вихід з роботи найбільш потужного генератора, підключеного до ЗРУ. З причини частого реверсу потужності і різних вимог до регулювання напруги на шинах системи та генераторних шинах, трансформатори зв'язку повинні мати пристрої регулювання напруги під навантаженням (РПН). Виходячи з вимог надійності електропостачання місцевих споживачів на ТЕЦ передбачається два трансформатора зв'язку .

Навантаження власних потреб (ВП) приймаємо 10% від генерації, тому що основне паливо - вугілля.

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

141.61101.004.БР.3

Потужність, що передається через трансформатори: $\Delta P = P_{\Gamma} - P_{ВП} - P_{нав}$

Для трансформатора зв'язку визначаються наступні параметри приведені в табл. 1.2:

Таблиця 1.2 Перетоки потужності

	Навантаження в різних режимах, МВт		
	Нормальний режим	Режим мінімального навантаження	Аварійний режим
Генерація	180	180	120
Місьцеве навантаження	148,5	103.95	148,5
Споживання на власні потреби	18	18	18
Перетік	13.5	58.05	46.5

По найбільшому розрахунковому перетоку визначаємо потужність кожного трансформатора:

$$S_{\text{трзв'язку}} = \frac{P_{\text{max перет.}}}{2 \cdot \cos \varphi} = \frac{58.05}{2 \cdot 0,85} = 34.147 \text{ МВА}$$

В якості трансформаторів зв'язку вибираємо два трансформатори типу ТДН-40000/110 [4] з параметрами, що наведені в табл. 1.3:

Таблиця 1.3 Номінальні дані трансформатора зв'язку

№	Найменування величини	Одиниці вимірювань	Умовне позначення	Номінальне значення
1	Тип трансформатора	ТДН-40000/110		
2	Номінальна потужність	МВА	S _{ном}	40
3	Напряга короткого замикання трансформатора	%	U _к	10,5
4	Напряга обмотки ВН	кВ	U _{ВН}	115

5	Напруга обмотки НН	кВ	УНН	10,5
6	Втрати х.х	кВт	$\Delta P_{ХХ}$	34
7	Втрати к.з	кВт	$\Delta P_{КЗ}$	170
8	Струм х.х	%	$I_{ХХ}$	0,55
9	Ціна	тис.грн		1442

Для всіх варіантів тип трансформаторів зв'язку буде однаковим.

1.2.3 Вибір блочного трансформатора

На електростанціях, що мають шини генераторної напруги, передбачається установка трансформаторів для зв'язку цих шин з шинами підвищеної напруги. Такий зв'язок необхідний для видачі надлишкової потужності в енергосистему в нормальному режимі, коли працюють всі генератори, і для резервування живлення навантажень на напрузі 10.5 кВ при плановому або аварійному відключенні одного генератора. Обираємо блочні трансформатори для обох варіантів.

При блочному з'єднанні генератора потужність трансформатора вибирається за розрахунковою потужністю:

$$S_{\text{тр.розрах}} = \frac{P_{\text{ген}} - P_{\text{вп}}}{\cos \varphi} = \frac{100 - 100 \cdot 0,1}{0,8} = 112,5 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор типу ТДЦ-125000/110 [4] при роботі блоку 100 МВт на шинах 110 кВ, ТДЦ-125000/330 [4] при роботі блоку 100 МВт на шинах 330 кВ. Паспортні дані вибраних трансформаторів занесені в табл. 1.4

Таблиця 1.4 Номінальні дані блочних трансформаторів

Тип трансформатора	ТДЦ-125000/110	ТДЦ-125000/330
Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, МВА	125	125
Напруга к.з трансформатора, U_k , %	10,5	11
Напруга обмотки ВН, $U_{\text{ВН}}$, кВ	121	242
Напруга обмотки НН, $U_{\text{НН}}$, кВ	10,5	10,5
Втрати х.х, $\Delta P_{\text{ХХ}}$, кВт	120	120
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{КЗ}}$, кВт	400	380
Струм х.х, $I_{\text{ХХ}}$, %	0,55	0,55
Ціна, тис.грн	2888,9	6180

1.2.4 Вибір автотрансформаторів зв'язку

Вибір автотрансформаторів здійснюється по перетоку потужності через них в різних можливих режимах роботи. Для вибору автотрансформаторів зв'язку розглянемо 3 режима:

- 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).

Необхідна активна потужність автотрансформаторів:

Для першого варіанту схеми:

Нормальний режим:

$$S_{\text{норм}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{180}{0,8} - \frac{160,5 + 148,5 + 18}{0,85} = -159,706 \text{ МВА}$$

Режим мін. навантажень:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{180}{0,8} - \frac{112,35 + 103,95 + 18}{0,85} = -50,647 \text{ МВА}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{120}{0,8} - \frac{160,5 + 148,5 + 12}{0,85} = -227,647 \text{ МВА}$$

По найбільшому розрахунковому навантаженню визначаємо потужність автотрансформатора:

$$S_{\text{АТ}} = S_{\text{ав}} = 227,647 \text{ МВА}$$

Для першої схеми обираємо два автотрансформатори зв'язку типу АТДЦТН-250000/330/110[4] з параметрами які занесені до табл.1.5.

Для другого варіанту схеми:

Нормальний режим:

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$$S_{\text{норм}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{280}{0,8} - \frac{160,5 + 148,5 + 28}{0,85} = -46.471 \text{ МВА}$$

Режим мін. навантажень:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{280}{0,8} - \frac{112,35 + 103,95 + 28}{0,85} = 62.588 \text{ МВА}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{МН}} + P_{\text{ВП}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{180}{0,8} - \frac{160,5 + 148,5 + 18}{0,85} = 159.706 \text{ МВА}$$

По найбільшому розрахунковому навантаженню визначаємо потужність автотрансформатора:

$$S_{\text{АТ}} = S_{\text{ав}} = 159.706 \text{ МВА}$$

Для другої схеми обираємо два автотрансформатори зв'язку типу АТДЦТН-200000/330/110[4] з параметрами які занесені до табл.1.5.

Таблиця 1.5 Номінальні дані автотрансформатора

Тип трансформатора	АТДЦТН-200000/330/110
Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, МВА	200
Напруга обмотки ВН, $U_{\text{ВН}}$, кВ	230
Напруга обмотки СН, $U_{\text{СН}}$, кВ	121
Напруга обмотки НН, $U_{\text{НН}}$, кВ	10,5
Втрати х.х, $\Delta P_{\text{ХХ}}$, кВт	105
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{КЗ(ВН-СН)}}$, кВт	430
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{КЗ(ВН-НН)}}$, кВт	400
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{КЗ(СН-НН)}}$, кВт	340
напруга к.з, $U_{\text{КЗ(ВН-СН)}}$, %	11
напруга к.з, $U_{\text{КЗ(ВН-НН)}}$, %	32
напруга к.з, $U_{\text{КЗ(СН-НН)}}$, %	20
Струм х.х, $I_{\text{ХХ}}$, %	0,4
Ціна, тис.грн	5482,6

10,5	2500	0,14	11	66	31,1	8
------	------	------	----	----	------	---

Для всіх варіантів тип секційного реактора буде однаковим.

1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів

$t = 8760 \text{ год.}$

$\tau = 3500 \text{ год.}$

Техніко-економічне порівняння варіантів виконаємо в табличній формі. Втрати потужності в трансформаторах зведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 Втрати потужності трансформаторів

	1		2	
	n		n	
ТДН-40000/110	2	1,172	2	1,172
ТДЦ-125000/110	-	-	1	2,185
ТДЦ-125000/330	3	6,386	2	4,257
АТДЦТН- 200000/330/110	-	-	1	1,661
АТДЦТН- 250000/330/110	1	2,212	-	-
АТДЦТН- 400000/330/110	1	3,54	1	3,54
Σ		13,31		12,81

$$W_1 = 2 \cdot 34 \cdot 8760 + 2 \cdot 170 \cdot \left(\frac{34.147}{40}\right)^2 \cdot 3500 = 1,172 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_2 = 1 \cdot 120 \cdot 8760 + 1 \cdot 400 \cdot \left(\frac{112,5}{125}\right)^2 \cdot 3500 = 2,185 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_3 = 3 \cdot 120 \cdot 8760 + 3 \cdot 380 \cdot \left(\frac{112,5}{125}\right)^2 \cdot 3500 = 6,386 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_4 = 1 \cdot 105 \cdot 8760 + 1 \cdot 430 \cdot \left(\frac{159.706}{200}\right)^2 \cdot 3500 = 1,661 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_5 = 1 \cdot 105 \cdot 8760 + 1 \cdot 430 \cdot \left(\frac{175.824}{200}\right)^2 \cdot 3500 = 1,853 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_6 = 1 \cdot 120 \cdot 8760 + 1 \cdot 500 \cdot \left(\frac{227.647}{250}\right)^2 \cdot 3500 = 2,212 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$W_7 = 1 \cdot 180 \cdot 8760 + 1 \cdot 720 \cdot \left(\frac{353}{400}\right)^2 \cdot 3500 = 3,54 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

Складаємо порівняльну таблицю вартості варіантів

Таблиця 1.8 Порівняльна таблиця вартості варіантів

№ п/п	Назва і тип обладнання	1-ий варіант		2-ий варіант		
		Ціна, тис. грн.	п	Вартість, тис.грн.	п	Вартість, тис.грн.
1	Трансформатор зв'язку ТДН-40000/110	1442	2	2884	2	2884
2	Блочний трансформатор ТДЦ-125000/110	2888,9		0	1	2888,9
3	Блочний трансформатор ТДЦ-125000/330	6180	3	18540	2	12360
4	Автотрансформатор АТДЦТН-200000/330/110	5482,6		0	1	5482,6
5	Автотрансформатор АТДЦТН-250000/330/110	7123	1	7123		0
6	Автотрансформатор АТДЦТН-400000/330/110	8760	1	8760	1	8760
7	Комірка 110 кВ	115	7	805	8	920
8	Комірка 330 кВ	465	9	4185	8	3720
9	ВЛ-110кВ,одноланцюго ва	46,5	3	139,5	3	139,5
10	ВЛ-330кВ,одноланцюго ва	83,7	4	334,8	4	334,8
	Сума	32586,7		42771,3		37489,8

Розрахунок щорічних витрат(тис. грн) показаний в табл. 1.9

б) Рентабельність інвестицій

$$R_t = \frac{P_{pt} + A_{pt}}{K} = \frac{932,843 + 2,395}{42,771} = 21,866$$

7) Строк окупності

$$T_{ок} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{21,866} = 0,046$$

Результати розрахунку показників ефективності показані в табл. 1.10

Таблиця 1.10 Результати розрахунку показників ефективності, млн. грн

	Варіанти	
	1	2
Прибуток	1190,553	1190,553
Балансовий прибуток	1180,814	1181,515
Податок на прибуток	247,971	248,118
Поточний річний чистий прибуток	932,843	933,397
Інтегральний ефект	9309,611	9317,476
Рентабельність інвестицій	21,866	24,953
Строк окупності	0,046	0,040

Отже, за рахунок більшого значення інтегрального ефекту, менших затрат на виробництво електроенергії та будівництво станції вибираємо 2-й варіант схеми.

1.4. Вибір схем електричних з'єднань електричних апаратів

1.4.1 Вибір схеми ВРП 110 кВ

Загальні положення. Остаточний вибір схеми розподільного пристрою схеми (РП) 110 кВ ТЕЦ здійснюється на підставі техніко-економічного зіставлення варіантів.

До цих РП підключаються споживчі лінії, лінії системоутворюючої мережі й міжсистемних зв'язків, трансформатори генераторних блоків і резервні трансформатори в.п., тобто приєднання в основному великої

потужності й відповідальні. Схема РП багато в чому визначає як надійність видачі станцією потужності й передачі обмінних потоків потужностей з однієї частини системи в іншу, так і надійність електропостачання цілого району й окремих споживачів.

Схеми РП підвищених напруг варто складати з урахуванням таких вимог:

а) ремонт вимикачів 110 кВ і вище робити без відключення приєднань;
б) повітряну лінію відключати від РП не більш ніж двома вимикачами;
в) трансформатори блоків відключати від РП не більш ніж трьома вимикачами;

г) відмови вимикачів РП в нормальному й ремонтному режимах не повинні приводити до одночасної втрати двох транзитних ліній, а також до одночасного відключення декількох ліній, якщо при цьому порушується стійкість паралельної роботи енергосистем;

д) при відмовах вимикачів у нормальному режимі РП не повинне відключатися більше одного блоку, а в ремонтному - не більше двох блоків, при цьому не повинні виникати перевантаження ліній і порушення стійкості.

На РП 110-220 кВ застосовують обхідну систему шин з обхідним вимикачем, щоб виконувалася вимога ремонту вимикачів без відключення приєднань. Якщо приєднань 12-16, одну із двох систем шин секціонують. Якщо приєднань більше 16, секціонують обидві системи шин.

У РП 110-220 кВ при секціонуванні однієї системи шин обхідний вимикач установлюється на кожній секції. При двох секціонованих системах збірних шин, застосовується для кожної секції сполучений і обхідний вимикач.

Відповідно до вище викладених вимог вибираємо ЗРП - 110 кВ за схемою подвійна система збірних шин з обхідною (з обхідним (ОВ) і шиноз'єднуючим (ШЗВ) вимикачами). До ВРП-110 кВ підключаються

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

трансформатори зв'язку (ТЗ1,ТЗ2), блоковий трансформатор (Т3) і дві ЛЕП.
 На рис 1.4 показана вибрана схема електричних з'єднань ВРП-110 кВ.

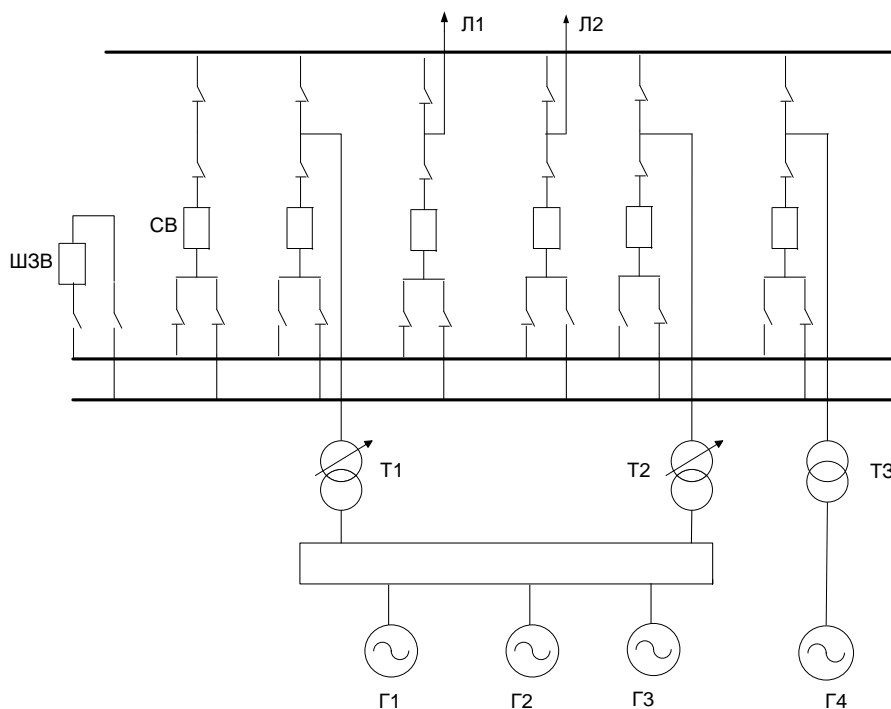


Рис.1.4. Схема електричних з'єднань ВРП-110 кВ

1.4.2 Вибір електричної схеми ГРП-10,5

ДО ГРП 6-10,5 кВ підключається невелике число приєднань, що живлять (генератори, трансформатори зв'язку) і багато ліній, що відходять до місцевих споживачів.

Схема ГРП 6-10,5 кВ повинна задовольняти наступним вимогам:

Погашення секцій збірних шин і відключення не повинне приводити до перерви електропостачання відповідальних споживачів (1-й категорії по ПЕУ)

Розширення ГРП з ростом місцевих навантажень не повинне приводити до зміни схеми і виконання значних будівельних і монтажних роб.

Для зазначених вимог найбільш раціональна схема: подвійне секціонування системи збірних шин. При необхідності подальшого

розширення нові лінії приєднують до існуючих секцій або споруджують нові секції.

Переваги схеми:

- Можливість ремонту будь-якої секції системи збірних шин без перерви живлення споживачів і можливість ремонту будь-якого шинного роз'єднувача з відключенням лише одного приєднання,

- Споживачі втрачають живлення тільки на час перемикання оперативним персоналом відповідних приєднань на резервну систему шин,

- Наявність шиноз'єднуючих вимикачів (ШЗВ1 і ШЗВ2) дозволяє переводити будь-які приєднання із робочої системи шин на резервну без відключень відповідних споживачів.

До недоліків варто віднести велику кількість роз'єднувачів, ізоляторів, струмоведучих матеріалів і вимикачів, більш складну конструкцію РП, істотним недоліком є використання роз'єднувачів як оперативних апаратів.

Вибираємо подвійну секціоновану систему шин із шиноз'єднуючими вимикачами (ШЗВ1, ШЗВ2) напругою 10,5 кВ. Секції з'єднуються між собою секційним вимикачем і секційним реактором.

1.4.3. Вибір трансформаторів та схеми електропостачання власних потреб (в.п.)

Головні елементи електроустановок в.п. електростанції - машинні агрегати, що являють собою сукупність робочих машин або механізмів в.п. (насоси, вентилятори, млини й т.п.) і приводи. Як привод у більшості випадків

вибирають електродвигуни трифазного змінного струму, які становлять близько 90% всього навантаження в.п. Інші види електроприймачів в.п. - електроосвітлювачі, обігрівальні пристрої та ін. Для живлення цих електроприймачів необхідні джерела енергії, трансформатори (реактори),

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

розподільні пристрої, кабельні мережі, сукупність яких визначає схему живлення електроустановок в.п.

В основу проектування схеми в.п. покладені наступні загальні положення:

1) Для живлення електроприймачів в.п. застосовують два рівні напруги 6-10 кВ (двигуни 200 кВт і більше) і 0,4-0,66 кВ (інші двигуни, освітлення та ін.). При цьому використовують принцип послідовної трансформації.

2) Робоче живлення всіх видів електроприймачів в.п. здійснюється відбором потужності на генераторній напрузі головної електричної схеми за допомогою трансформаторів або реакторів. Якщо на електростанції передбачається ГРП 6-10 кВ, то РП в.п. одержує живлення безпосередньо від шин ГРП реакторними лініями (ГРП 6 кВ) або через понижувальний трансформатор в.п. (ГРП 10 кВ). Якщо є блокові генератори, то живлення в.п. здійснюється відпайкою від блоку.

3) Розподільні пристрої в.п. виконують із однією секціонованою системою шин з одним вимикачем на приєднання.

4) Резервне живлення відповідальних і невідповідальних електроприймачів в.п. забезпечують відбором потужності від головної електричної схеми, дотримуючись умови, що місця приєднання ланцюгів резервного живлення незалежні від місць приєднання ланцюгів робочого живлення.

5) Потужність трансформаторів в.п. (ТВП) вибирають із урахуванням числа й потужності споживачів в.п.

Вибираємо трансформатори в.п.:

$$S_{T.ВП} \geq \frac{P}{\cos\phi} \times 0,1 = \frac{60}{0,8} \times 0,1 = 7,5(MVA)$$

Вибираємо на трансформатор з розчіпленою обмоткою ТМН-16000/10 паспортні дані якого показані в табл. 1.12

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Таблиця 1.12. Паспортні дані трансформатора ТМН-16000/10

№	Номінальні параметри	ТМН-16000/10
1	Номінальна напруга обмотки ВН ($U_{ВН}$), кВ	10,5
2	Номінальна напруга обмотки НН ($U_{НН}$), кВ	6,3
3	Втрати х.х (P_x), кВт	17
4	Втрати к.з ($P_{кз}$), кВт	85
5	Напруга к.з. (U_k), %	10
6	Струм х.х. (I_x), %	0,7

Резервний трансформатор ВП, що з'єднує шини ВП з шинами ВРП-110 вибираємо такий самий – ТМН-16000.

Виберемо трансформатор ВП, що знаходиться після генератора потужністю 100 МВт на 10кВ:

$$S_{Т.ВП} \geq \frac{P}{\cos\phi} \times 0,1 = \frac{100}{0,8} \times 0,1 = 12,5 (МВА)$$

Вибираємо на трансформатор з розчіпленою обмоткою ТМН-16000/10 паспортні дані покажемо в таблиці.1.13

Таблиця 1.13. Паспортні дані трансформатора ТМН-16000/10

№	Номінальні параметри	ТМН-16000/10
1	Номінальна напруга обмотки ВН ($U_{ВН}$), кВ	10,5
2	Номінальна напруга обмотки НН ($U_{НН}$), кВ	6,3
3	Втрати х.х (P_x), кВт	17
4	Втрати к.з ($P_{кз}$), кВт	85
5	Напруга к.з. (U_k), %	10
6	Струм х.х. (I_x), %	0,7

Виберемо трансформатор ВП, що знаходиться після генератора потужністю 300 МВт на 20кВ:

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$S_{T.ВП} \geq \frac{P_{ген}}{\cos \varphi} \cdot 0.1 = \frac{300}{0.85} \cdot 0.1 = 35.3 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор з розчіпленою обмоткою ТРДНС-40000/20 паспортні дані покажемо в табл.1.14:

Таблица 1.14. Паспортні дані тра-ра ТРДНС-40000/20

№	Номінальні параметри	ТРДСН-40000/20
1	Номінальна напруга обмотки ВН ($U_{ВН}$), кВ	20
2	Номінальна напруга обмотки НН ($U_{НН}$), кВ	6,3
3	Втрати х.х (P_x), кВт	36
4	Втрати к.з ($P_{кз}$), кВт	170
5	Напруга к.з. (U_k), %	12,7
6	Струм х.х (I_x), %	0.6

Резервний трансформатор ВП, що з'єднує шини ВП з шинами ВРП-220 вибираємо такий самий - ТРДНС-40000/20.

Висновки

В даному розділі дипломної роботи було розраховано і вибрано основну електричну схему з'єднань електростанції та основне силове обладнання. На основі відомої інформації було теоретично представлено дві оптимальні схеми електричних з'єднань. В результаті чого, за допомогою технічно-економічних розрахунків було знайдено найекономніший варіант та вибрано для нього основне силове обладнання. Таким чином найоптимальніша схема електричних з'єднань складається з: 3 генератори типу ТВФ-63-2УЗ для збірних РУ 10,5 кВ; 2 блочних ТВФ-120-2УЗ один з яких приєднаний до РУ 110 кВ, а інший до РУ 330 кВ; і 2 ТВФ-300УЗ один з яких приєднаний до автотрансформатора типу АТДЦТН-200000/330/110, а інший, блочний, працює на шинах РУ 330 кВ; 2 трансформатори зв'язку типу ТДН-40000/110; 2 блочних трансформатори типу ТДЦ-125000/110, що працює на блоці 100 МВт на шинах 110 кВ, та ТДЦ-125000/330, що працює на блоці 100 МВт на шинах 330 кВ; для даної схеми необхідно 2 автотрансформатори зв'язку типу АТДЦТН-200000/330/110; блочний трансформатор зв'язку АТДЦТН-400000/330/110; секційний реактор типу РБГ 10-2500-0,14УЗ.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

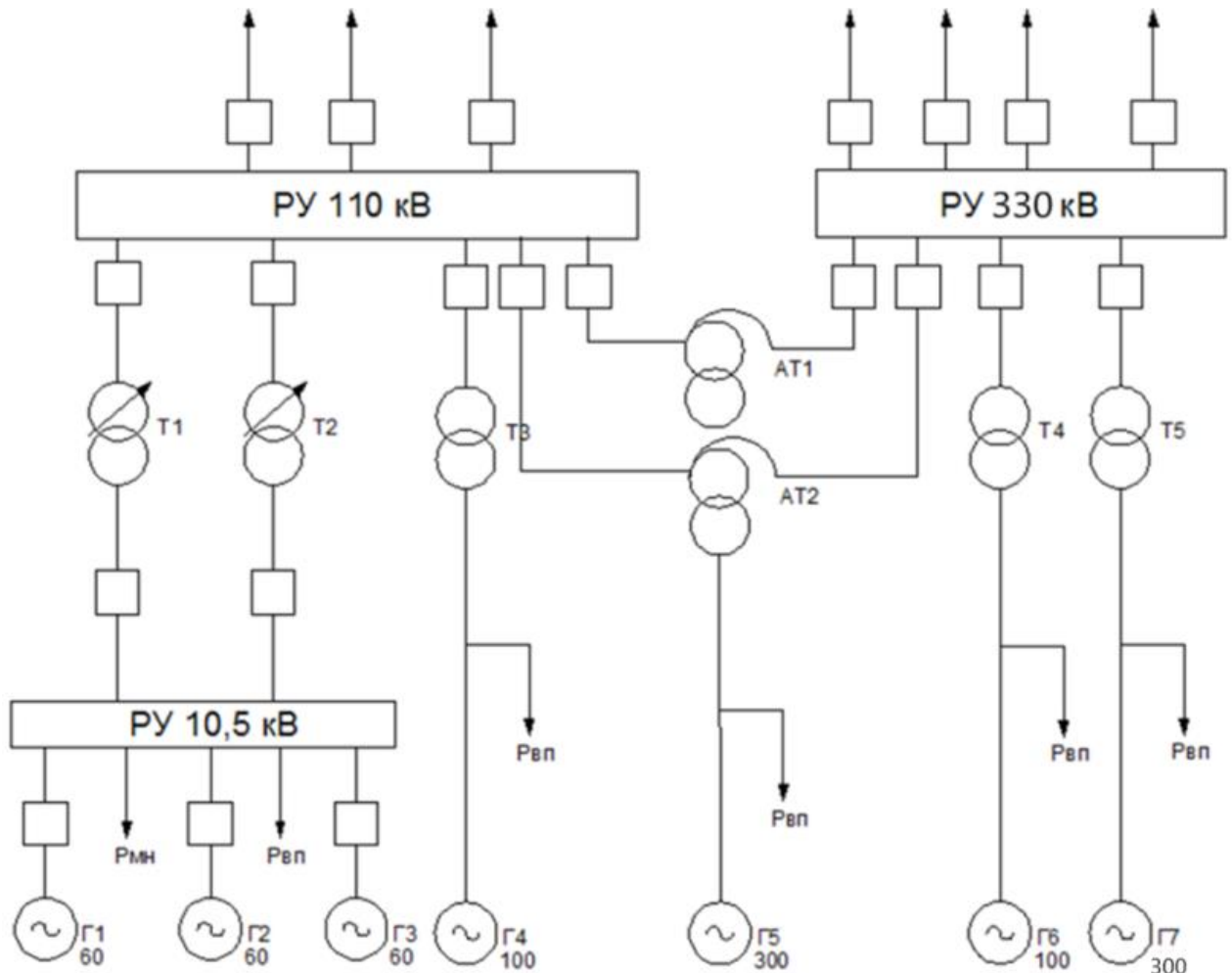
Розділ 2
Розрахунок струмів короткого замикання
та вибір електричних апаратів

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

2.1. Розрахунок струмів короткого замикання

2.1.1. Складання заступної схеми. Визначення опору системи

Вибрана схема варіанту 2:



Знайдемо величини опорів елементів схеми заміщення у відносних одиницях. За базисну приймемо потужність $S_6 = 78,75 \text{ МВА}$. За базисну візьмемо напругу $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$. Опори генераторів:

$$X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = \frac{X_{d\%}''}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Н.Г.}} = \frac{15,3}{100} \cdot \frac{78,75}{78,75} = 0,153 \text{ в. о.}$$

$$X_{Г4} = X_{Г6} = X_{Г7} = \frac{X_{d\%}''}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Н.Г.}} = \frac{19,2}{100} \cdot \frac{78,75}{125} = 0,121 \text{ в. о.}$$

$$X_{Г5} = \frac{X_{d\%}''}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Н.Г.}} = \frac{19,5}{100} \cdot \frac{78,75}{352} = 0,0435 \text{ в. о.}$$

Опори трансформаторів:

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.T.}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{78,75}{40} = 0,207 \text{ в. о.}$$

$$X_{T3} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.T.}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{78,75}{125} = 0,066 \text{ в. о.}$$

$$X_{T4} = X_{T5} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.T.}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{78,75}{125} = 0,069 \text{ в. о.}$$

Опір реактора:

$$X_{P.C.} = X_P(\text{ОМ}) \cdot \frac{S_6}{U_{H.P.}^2} = 0,14 \cdot \frac{78,75}{10,5^2} = 0,1 \text{ в. о.}$$

Опори автотрансформаторів:

$$X_{AT1} = \frac{U_{k(B-C)\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.AT.}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{78,75}{200} = 0,043 \text{ в. о.}$$

$$X_B = \frac{U_{k(B-C)\%} + U_{k(B-H)\%} - U_{k(C-H)\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.AT.}} = \frac{10,5 + 60 - 48}{400} = 0,044 \text{ в. о.}$$

$$X_C = \frac{U_{k(B-C)\%} + U_{k(C-H)\%} - U_{k(B-H)\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.AT.}} = \frac{10,5 + 48 - 60}{400} = 0,0029 \text{ в. о.}$$

$$X_H = \frac{U_{k(B-H)\%} + U_{k(C-H)\%} - U_{k(B-C)\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{H.AT.}} = \frac{60 + 48 - 10,5}{400} = 0,192 \text{ в. о.}$$

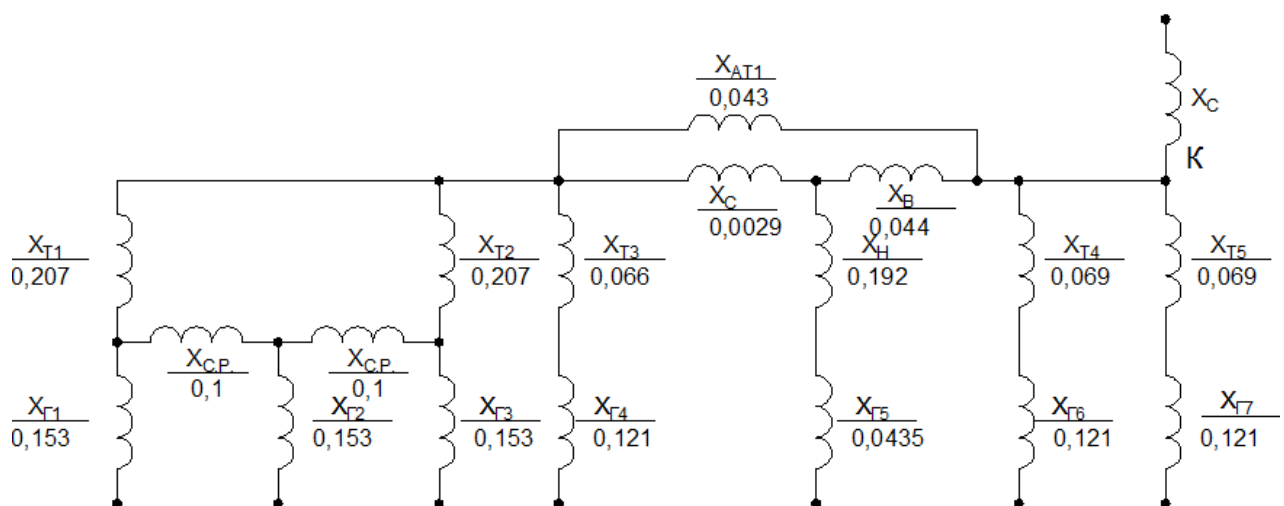


Рисунок 2.1. Заступна схема ЕС

Для розрахунку струмів к.з. необхідно знати опір системи X_C . Тому згортається схема відносно точки K_C , що знаходиться перед виходом в систему. Так знаходиться X_C .

Згортається схема відносно точки K_C :

$$X_1 = \frac{X_{\Gamma 1}}{2} = \frac{0,153}{2} = 0,077 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = \frac{X_P}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ в. о.}$$

$$X_3 = \frac{X_{T1}}{2} = \frac{0,207}{2} = 0,103 \text{ в. о.}$$

$$X_4 = X_{\Gamma 4} + X_{T3} = 0,121 + 0,066 = 0,187 \text{ в. о.}$$

$$X_5 = X_{\Gamma 5} + X_H = 0,044 + 0,192 = 0,235 \text{ в. о.}$$

$$X_6 = X_7 = X_{T4} + X_{\Gamma 6} = 0,121 + 0,069 = 0,19 \text{ в. о.}$$

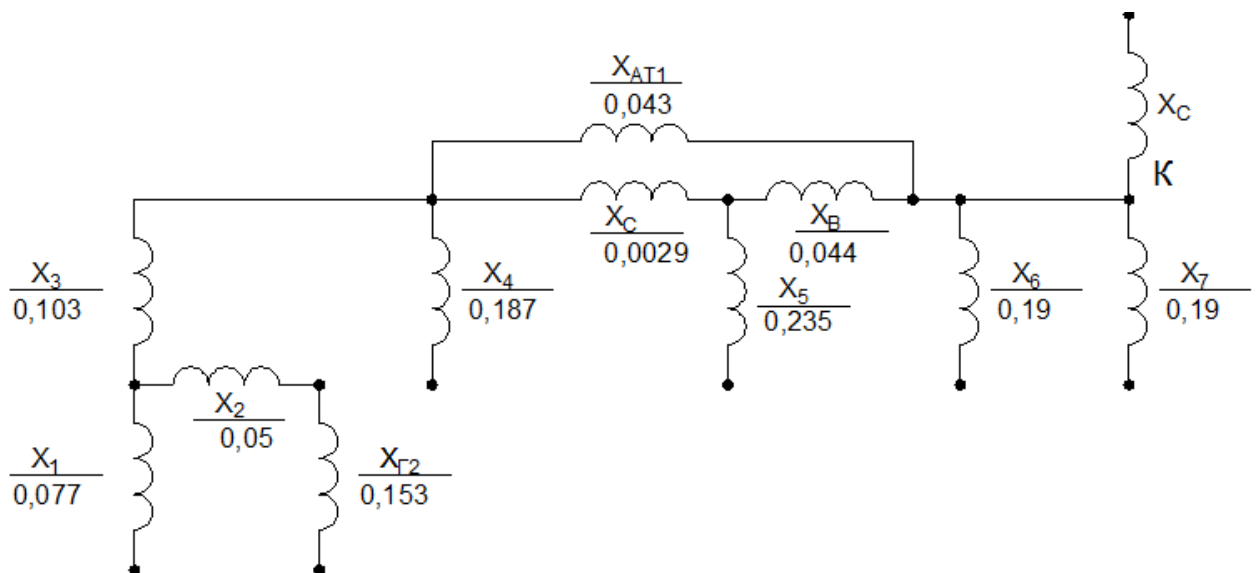


Рисунок 2.2 Заступна схема після першого кроку згортання схеми

$$X_8 = \frac{X_{AT} \cdot X_C}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,043 \cdot 0,0029}{0,043 + 0,044 + 0,0029} = 0,001 \text{ в. о.}$$

$$X_9 = \frac{X_{AT} \cdot X_B}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,043 \cdot 0,044}{0,043 + 0,044 + 0,0029} = 0,0212 \text{ в. о.}$$

$$X_{10} = \frac{X_C \cdot X_B}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,0029 \cdot 0,044}{0,043 + 0,044 + 0,0029} = 0,0014 \text{ в. о.}$$

$$X_{11} = X_{\Gamma 2} + X_2 = 0,153 + 0,05 = 0,203 \text{ в. о.}$$

$$X_{12} = \frac{X_{11} \cdot X_1}{X_{11} + X_1} = \frac{0,203 \cdot 0,077}{0,203 + 0,077} = 0,0556 \text{ в. о.}$$

$$X_{13} = X_{12} + X_3 = 0,0556 + 0,103 = 0,1589 \text{ в. о.}$$

$$X_{14} = X_5 + X_{10} = 0,235 + 0,0014 = 0,2369 \text{ в. о.}$$

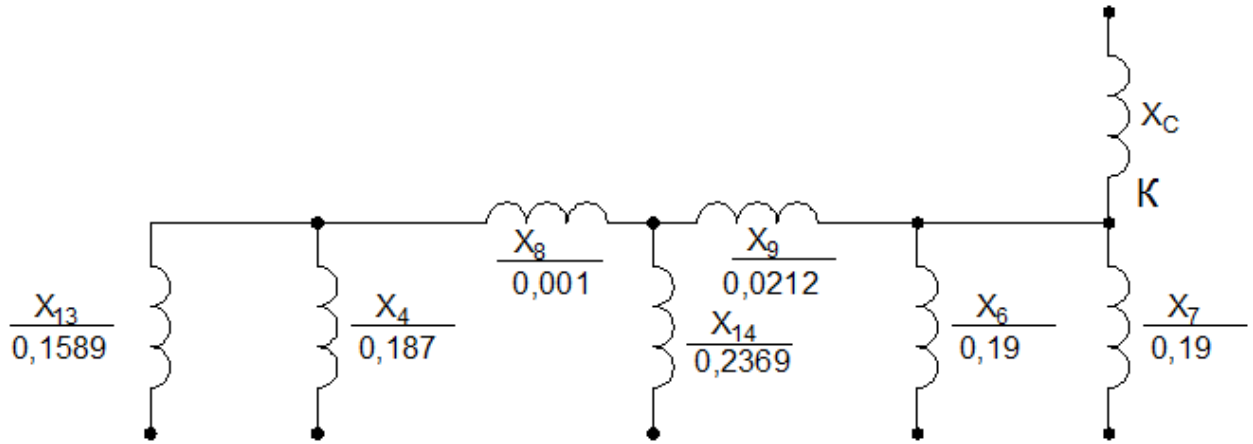


Рисунок 2.3 Заступна схема після другого кроку згорання схеми

$$X_{15} = \frac{X_{13} \cdot X_4}{X_{13} + X_4} = \frac{0,1589 \cdot 0,187}{0,1589 + 0,187} = 0,0859 \text{ в. о.}$$

$$X_{16} = X_{15} + X_8 = 0,0859 + 0,001 = 0,0873 \text{ в. о.}$$

$$X_{17} = \frac{X_{16} \cdot X_{14}}{X_{16} + X_{14}} + X_9 = \frac{0,0873 \cdot 0,2369}{0,0873 + 0,2369} + 0,0212 = 0,085 \text{ в. о.}$$

$$X_{CT} = \frac{X_{17} \cdot \frac{X_6}{2}}{X_{17} + \frac{X_6}{2}} = \frac{0,085 \cdot \frac{0,19}{2}}{0,085 + \frac{0,19}{2}} = 0,0449 \text{ в. о.}$$

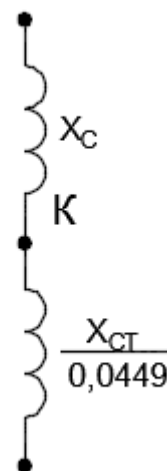


Рисунок 2.4. Двопроменева заступна схема для визначення опору системи

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78,75 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 4,33 \text{ кА}$$

$$I_{\text{к.з.}(сист)} = \frac{U_{330}}{U_6} \cdot I_{\text{к.з.}(сист)} = \frac{330}{10,5} \cdot 30,8 = 968 \text{ кА}$$

$$X_E = \frac{I_6}{I_{\text{к.з.}(сист)}} = \frac{4,33}{968} = 0,00447 \text{ в. о.}$$

$$X_{\text{СИСТ}} = \frac{X_E \cdot X_{CT}}{X_{CT} - X_E} = \frac{0,00447 \cdot 0,0439}{0,0439 - 0,00447} = 0,005 \text{ в. о.}$$

2.1.2. Розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10,5 кВ

Згортаємо схему справа наліво відносно точки К1.

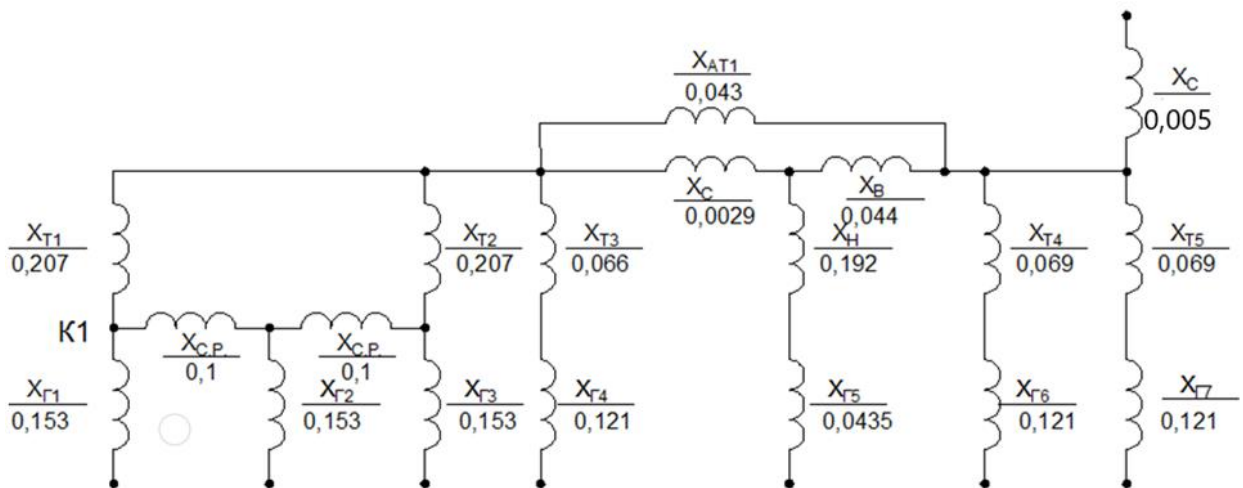


Рисунок 2.5. Заступна схема ЕС з повністю визначеними параметрами

$$X_1 = X_{Г4} + X_{Т3} = 0,121 + 0,066 = 0,187 \text{ в. о.}$$

$$X_2 = X_3 = X_{Г6} + X_{Т4} = 0,121 + 0,069 = 0,19 \text{ в. о.}$$

$$X_4 = \frac{X_{AT} \cdot X_C}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,043 \cdot 0,005}{0,043 + 0,005 + 0,0029} = 0,001 \text{ в. о.}$$

$$X_5 = \frac{X_{AT} \cdot X_B}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,043 \cdot 0,044}{0,043 + 0,005 + 0,0029} = 0,0212 \text{ в. о.}$$

$$X_6 = \frac{X_C \cdot X_B}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,005 \cdot 0,044}{0,043 + 0,005 + 0,0029} = 0,0014 \text{ в. о.}$$

$$X_7 = X_{Г5} + X_H + X_6 = 0,0435 + 0,192 + 0,0014 = 0,2369 \text{ в. о.}$$

$$X_8 = \frac{X_{Г2}}{2} = \frac{0,153}{2} = 0,077 \text{ в. о.}$$

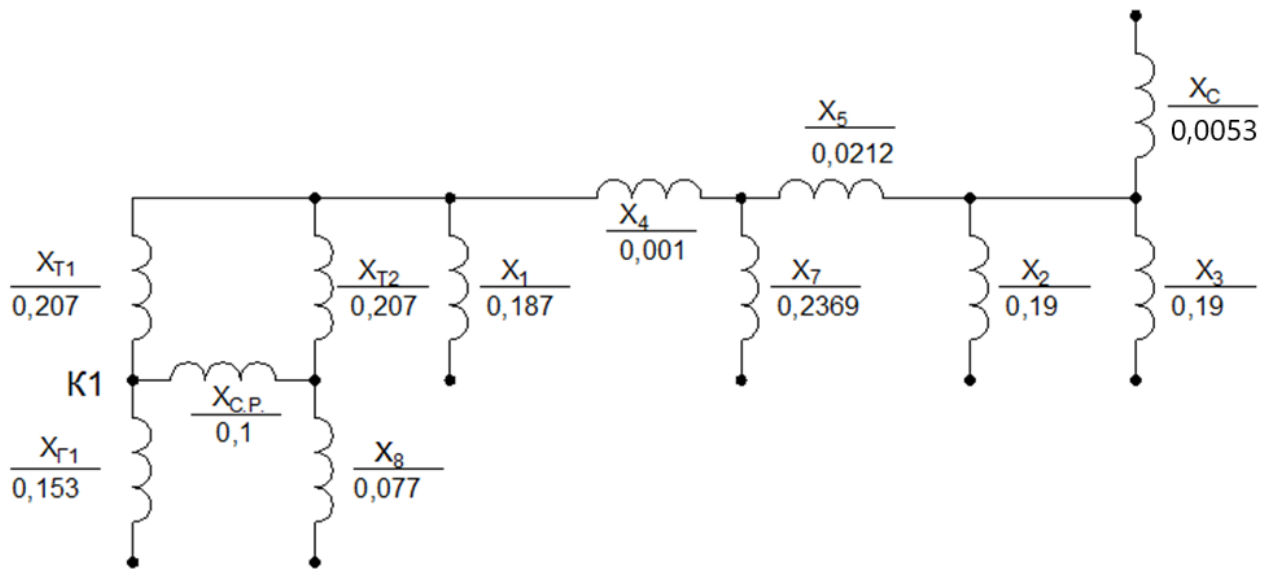


Рисунок 2.6 Заступна схема після першого кроку еквівалентування схеми

$$X_9 = \frac{X_C \cdot X_3}{X_C + X_3} = \frac{0,005 \cdot 0,19}{0,005 + 0,19} = 0,0077 \text{ в. о.}$$

$$X_{10} = \frac{X_9 \cdot X_2}{X_9 + X_2} + X_5 = \frac{0,0077 \cdot 0,19}{0,0077 + 0,19} + 0,0212 = 0,0286 \text{ в. о.}$$

$$X_{11} = \frac{X_{10} \cdot X_7}{X_{10} + X_7} + X_4 = \frac{0,0286 \cdot 0,2369}{0,0286 + 0,2369} + 0,001 = 0,027 \text{ в. о.}$$

$$X_{12} = \frac{X_{11} \cdot X_1}{X_{11} + X_1} = \frac{0,027 \cdot 0,187}{0,027 + 0,187} = 0,0236 \text{ в. о.}$$

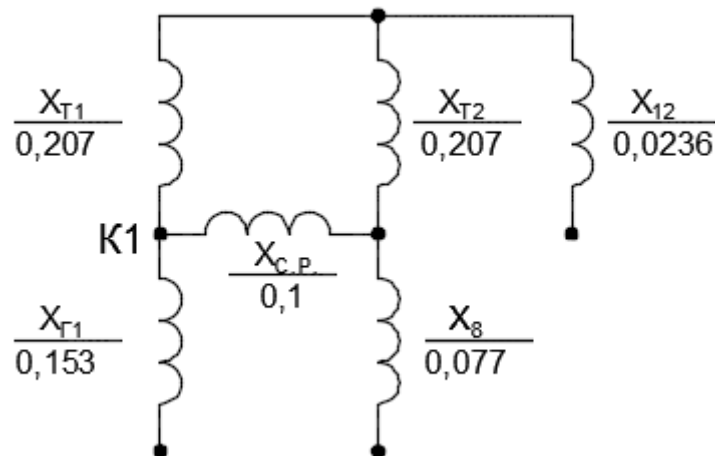


Рисунок 2.7 Заступна схема після другого кроку еквівалентування схеми

$$X_{13} = \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_P + X_{T2}} = \frac{0,207 \cdot 0,207}{0,207 + 0,1 + 0,207} = 0,083 \text{ в. о.}$$

$$X_{14} = X_{15} = \frac{X_{T1} \cdot X_P}{X_{T1} + X_P + X_{T2}} = \frac{0,207 \cdot 0,1}{0,207 + 0,1 + 0,207} = 0,0403 \text{ в. о.}$$

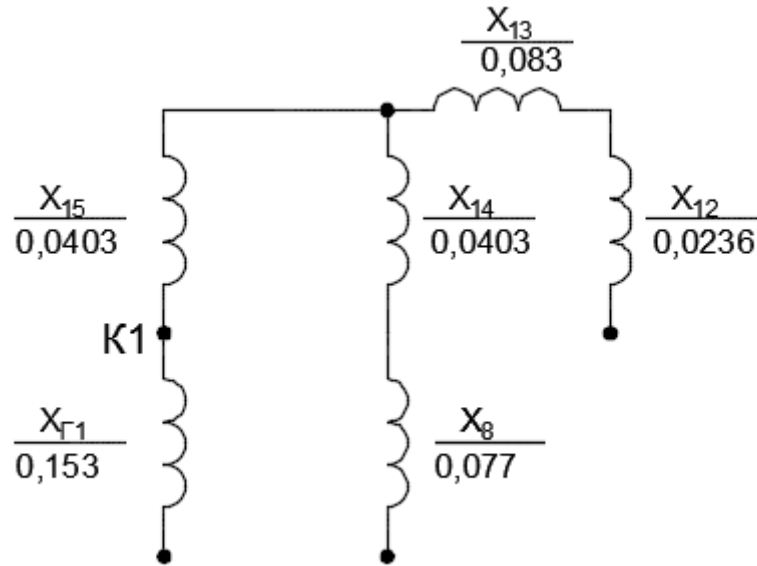


Рисунок 2.8. Заступна схема після третього кроку еквівалентування схеми

$$X_{16} = X_{12} + X_{13} = 0,0236 + 0,083 = 0,107 \text{ в. о.}$$

$$X_{17} = X_{14} + X_8 = 0,077 + 0,0403 = 0,117 \text{ в. о.}$$

$$X_{18} = \frac{X_{16} \cdot X_{17}}{X_{16} + X_{17}} = \frac{0,107 \cdot 0,117}{0,107 + 0,117} = 0,056 \text{ в. о.}$$

$$X_{CT} = X_{18} + X_{15} = 0,056 + 0,0403 = 0,096 \text{ в. о.}$$

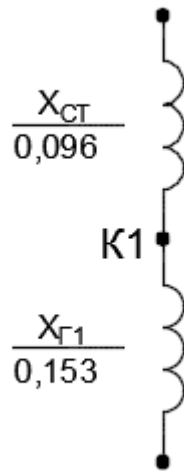


Рисунок 2.9. Двопроменева схема виду «система-генератор»

$$X_{\text{екв}} = \frac{X_{\text{СТ}} \cdot X_{\text{Г1}}}{X_{\text{СТ}} + X_{\text{Г1}}} = \frac{0,096 \cdot 0,153}{0,096 + 0,153} = 0,059 \text{ в. о.}$$

Знаходяться коефіцієнти струморозподілу по гілкам схеми:

$$C = 1$$

$$C_{\text{СТ}} = C_{18} = C_{15} = C \cdot \frac{X_{\text{Г1}}}{X_{\text{СТ}} + X_{\text{Г1}}} = 1 \cdot \frac{0,153}{0,096 + 0,153} = 0,614$$

$$C_{\text{Г1}} = C \cdot \frac{X_{\text{СТ}}}{X_{\text{СТ}} + X_{\text{Г1}}} = 1 \cdot \frac{0,096}{0,096 + 0,153} = 0,386$$

$$C_{16} = C_{13} = C_{12} = C_{18} \cdot \frac{X_{17}}{X_{16} + X_{17}} = 0,614 \cdot \frac{0,117}{0,107 + 0,117} = 0,321$$

$$C_{17} = C_{14} = C_8 = C_{18} \cdot \frac{X_{16}}{X_{16} + X_{17}} = 0,614 \cdot \frac{0,107}{0,107 + 0,117} = 0,293$$

$$C_{\text{T1}} = \frac{C_{13} \cdot X_{13} + C_{15} \cdot X_{15}}{X_{\text{T1}}} = \frac{0,321 \cdot 0,083 + 0,614 \cdot 0,0403}{0,207} = 0,249$$

$$C_{\text{T2}} = \frac{C_{13} \cdot X_{13} - C_{14} \cdot X_{14}}{X_{\text{T2}}} = \frac{0,321 \cdot 0,083 - 0,293 \cdot 0,0403}{0,207} = 0,072$$

$$C_{\text{С.Р.}} = \frac{C_{14} \cdot X_{14} + C_{15} \cdot X_{15}}{X_{\text{С.Р.}}} = \frac{0,293 \cdot 0,0403 + 0,614 \cdot 0,0403}{0,1} = 0,365$$

$$C_1 = C_{T3} = C_{Г4} = C_{12} \cdot \frac{X_{11}}{X_1 + X_{11}} = 0,321 \cdot \frac{0,027}{0,187 + 0,027} = 0,04$$

$$C_{11} = C_4 = C_{12} \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_{11}} = 0,321 \cdot \frac{0,187}{0,187 + 0,027} = 0,28$$

$$C_7 = C_H = C_{Г5} = C_6 = C_{11} \cdot \frac{X_{10}}{X_{10} + X_7} = 0,28 \cdot \frac{0,029}{0,029 + 0,237} = 0,03$$

$$C_{10} = C_5 = C_{11} \cdot \frac{X_7}{X_{10} + X_7} = 0,28 \cdot \frac{0,237}{0,029 + 0,237} = 0,25$$

$$C_2 = C_{Г4} = C_{Г6} = C_5 \cdot \frac{X_9}{X_9 + X_2} = 0,25 \cdot \frac{0,008}{0,008 + 0,19} = 0,01$$

$$C_9 = C_5 \cdot \frac{X_2}{X_9 + X_2} = 0,25 \cdot \frac{0,19}{0,008 + 0,19} = 0,24$$

$$C_3 = C_{Т5} = C_{Г7} = C_9 \cdot \frac{X_{СИСТ}}{X_{СИСТ} + X_3} = 0,24 \cdot \frac{0,0053}{0,0053 + 0,19} = 0,01$$

$$C_{СИСТ} = C_9 \cdot \frac{X_3}{X_{СИСТ} + X_3} = 0,24 \cdot \frac{0,19}{0,005 + 0,19} = 0,23$$

$$C_{AT} = \frac{C_5 \cdot X_5 + C_4 \cdot X_4}{X_{AT}} = \frac{0,25 \cdot 0,021 + 0,28 \cdot 0,001}{0,043} = 0,131$$

$$C_C = \frac{C_6 \cdot X_6 + C_4 \cdot X_4}{X_C} = \frac{0,03 \cdot 0,001 + 0,28 \cdot 0,001}{0,003} = 0,149$$

$$C_B = \frac{C_5 \cdot X_5 - C_6 \cdot X_6}{X_B} = \frac{0,25 \cdot 0,021 - 0,03 \cdot 0,001}{0,044} = 0,119$$

Перевірка:

$$\begin{aligned} & C_{Г1} + C_{Г2} + C_{Г3} + C_{Г4} + C_{Г5} + C_{Г6} + C_{Г7} + C_{СИСТ} = \\ & = 0,386 + 0,147 + 0,147 + 0,04 + 0,03 + 0,01 + 0,01 + 0,23 = 1 \end{aligned}$$

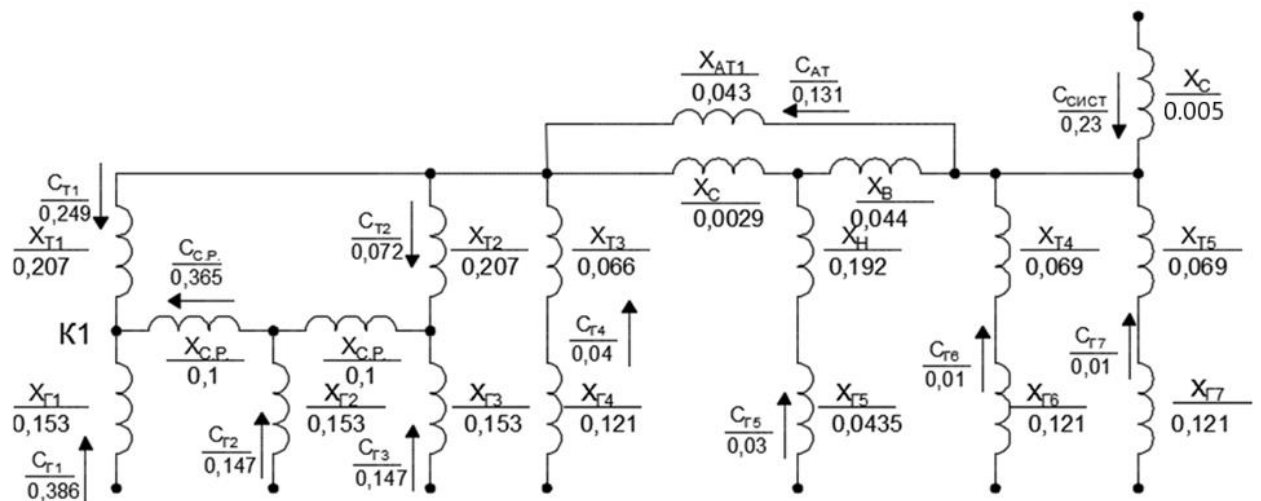


Рисунок 2.10. Струмозподіл по гілкам схеми

Вихідну систему замінюємо еквівалентною з трьома променями, в першому – генератор Г1, в другому – система, в третьому – інші генератори ЕС.

Таблиця 2.1. Потужність та коефіцієнти струмозподілу променів

№ променя	Назва променя	S _л , МВА	C
1	Г ₁	78,75	0,39
2	Система	78,75	0,23
3	Г ₂ , Г ₃ , Г ₄ , Г ₅ , Г ₆ , Г ₇	885,50	0,38
Сума		1043	1

Для променів маємо:

1) для променя 1:

номінальний струм променя

$$I_{нп1} = \frac{S_{п1}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78,75}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 4,33 \text{ кА}$$

розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{розрах.13} = \frac{X_E}{C_{п1}} \cdot \frac{S_{п1}}{S_6} = \frac{0,059}{0,39} \cdot \frac{78,75}{78,75} = 0,15$$

розрахунковий опір променя при двофазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.12}} = \frac{2 \cdot X_E \cdot S_{\text{п1}}}{C_{\text{п1}} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0,059 \cdot 78,75}{0,39 \cdot 78,75} = 0,31$$

2) для променя 2:

номінальний струм променя

$$I_{\text{нп2}} = \frac{S_{\text{п2}}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78,75}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 4,33 \text{ кА}$$

розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.23}} = \frac{X_E \cdot S_{\text{п2}}}{C_{\text{п2}} \cdot S_6} = \frac{0,059 \cdot 78,75}{0,23 \cdot 78,75} = 0,26$$

розрахунковий опір променя при двофазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.22}} = \frac{2 \cdot X_E \cdot S_{\text{п2}}}{C_{\text{п2}} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0,049 \cdot 78,75}{0,23 \cdot 78,75} = 0,51$$

3) для променя 3:

номінальний струм променя

$$I_{\text{нп3}} = \frac{S_{\text{п3}}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{885,5}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 48,69 \text{ кА}$$

розрахунковий опір променя при трифазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.33}} = \frac{X_E \cdot S_{\text{п3}}}{C_{\text{п3}} \cdot S_6} = \frac{0,059 \cdot 885,5}{0,38 \cdot 78,75} = 1,73$$

розрахунковий опір променя при двофазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.32}} = \frac{2 \cdot X_E \cdot S_{\text{п3}}}{C_{\text{п3}} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0,059 \cdot 885,5}{0,38 \cdot 78,75} = 3,46$$

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

1) Трифазне КЗ, промінь 1 ($m = 1$):

$$X_{\text{розрах.13}} = 0,15$$

$$I'_{0.0\text{п13}} = 6,9$$

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$I'_{0.1п13} = 5,2$$

$$I'_{\inftyп13} = 2,72$$

Струми в кА:

$$I_{п13_0.0} = I'_{0.0п13} \cdot m \cdot I_{нп1} = 6,9 \cdot 1 \cdot 4,33 = 29,877 \text{ кА}$$

$$I_{п13_0.1} = I'_{0.1п13} \cdot m \cdot I_{нп1} = 5,2 \cdot 1 \cdot 4,33 = 22,516 \text{ кА}$$

$$I_{п13_∞} = I'_{\inftyп13} \cdot m \cdot I_{нп1} = 2,72 \cdot 1 \cdot 4,33 = 11,78 \text{ кА}$$

2) Трифазне КЗ, промінь 2

$$X_{розрах.23} = 0,26$$

$$I'_{0.0п23} = 3,9$$

$$I'_{0.1п23} = 2,38$$

$$I'_{\inftyп23} = 2,42$$

Струми в кА:

$$I_{п23_0.0} = I'_{0.0п23} \cdot m \cdot I_{нп2} = 3,9 \cdot 1 \cdot 4,33 = 16,887 \text{ кА}$$

$$I_{п23_0.1} = I'_{0.1п23} \cdot m \cdot I_{нп2} = 2,38 \cdot 1 \cdot 4,33 = 10,305 \text{ кА}$$

$$I_{п23_∞} = I'_{\inftyп23} \cdot m \cdot I_{нп2} = 2,42 \cdot 1 \cdot 4,33 = 10,5 \text{ кА}$$

3) Трифазне КЗ, промінь 3

$$X_{розрах.33} = 1,73$$

$$I'_{0.0п33} = 0,55$$

$$I'_{0.1п33} = 0,54$$

$$I'_{\inftyп33} = 0,61$$

Струми в кА:

$$I_{п33_0.0} = I'_{0.0п33} \cdot m \cdot I_{нп3} = 0,55 \cdot 1 \cdot 48,69 = 26,78 \text{ кА}$$

$$I_{п33_0.1} = I'_{0.1п33} \cdot m \cdot I_{нп3} = 0,54 \cdot 1 \cdot 48,69 = 26,3 \text{ кА}$$

$$I_{п33_∞} = I'_{\inftyп33} \cdot m \cdot I_{нп3} = 0,61 \cdot 1 \cdot 48,69 = 29,7 \text{ кА}$$

Ударний струм:

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\Sigma 30.0} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot (29,88 + 16,89 + 26,78) = 202,82 \text{ кА}$$

4) двофазне КЗ, промінь 1 ($m_2 = \sqrt{3}$)

$$X_{\text{розрах.12}} = 0,31$$

$$I'_{0.0п12} = 3,28$$

$$I'_{0.1п12} = 2,7$$

$$I'_{\infty п12} = 2,28$$

Струми в кА:

$$I_{п12_0.0} = I'_{0.0п12} \cdot m \cdot I_{нп1} = 3,28 \cdot \sqrt{3} \cdot 4,33 = 24,6 \text{ кА}$$

$$I_{п12_0.1} = I'_{0.1п12} \cdot m \cdot I_{нп1} = 2,7 \cdot \sqrt{3} \cdot 4,33 = 20,25 \text{ кА}$$

$$I_{п12_\infty} = I'_{\infty п12} \cdot m \cdot I_{нп1} = 2,28 \cdot \sqrt{3} \cdot 4,33 = 17,1 \text{ кА}$$

5) двофазне КЗ, промінь 2

$$X_{\text{розрах.22}} = 0,51$$

$$I'_{0.0п22} = 1,98$$

$$I'_{0.1п22} = 1,73$$

$$I'_{\infty п22} = 1,8$$

Струми в кА:

$$I_{п22_0.0} = I'_{0.0п22} \cdot m \cdot I_{нп2} = 1,98 \cdot \sqrt{3} \cdot 4,33 = 14,85 \text{ кА}$$

$$I_{п22_0.1} = I'_{0.1п22} \cdot m \cdot I_{нп2} = 1,73 \cdot \sqrt{3} \cdot 4,33 = 12,975 \text{ кА}$$

$$I_{п22_\infty} = I'_{\infty п22} \cdot m \cdot I_{нп2} = 1,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 4,33 = 13,5 \text{ кА}$$

б) двофазне КЗ, промінь 3

$$X_{\text{розрах.32}} = 3,46$$

$$I'_{0.0п32} = I'_{0.1п32} = I'_{\infty п32} = \frac{1}{X_{\text{розрах.32}}} = \frac{1}{3,46} = 0,289$$

$$I_{п32_0.0} = I_{п32_0.1} = I_{п32_\infty} = I'_{0.0п32} \cdot m \cdot I_{нп3} = 0,289 \cdot \sqrt{3} \cdot 48,69 = 24,39 \text{ кА}$$

Результати заносяться до табл.2.2

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Розраховується струм к.з за реактором.

Потужність променя : $S_{\Pi} = 1043$ МВА

Номинальний струм променя:

$$I_{\text{нп}} = \frac{S_{\Pi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{с}}} = \frac{1043}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 57,35 \text{ кА}$$

$$\bar{X}_{\text{р.п.*}} = X_{\text{ном.р.}} \cdot \frac{S_{\text{с}}}{U_{\text{нп}}^2} = 0,14 \cdot \frac{78,75}{10^2} = 0,11 \text{ в. о.}$$

$$X_{E1} = \bar{X}_{\text{р.п.*}} + X_{E1} = 0,11 + 0,059 = 0,169 \text{ в. о.}$$

$$X_{\text{розрах}} = X_{E1} \cdot \frac{S_{\Pi}}{S_{\text{с}}} = 0,169 \cdot \frac{1043}{78,75} = 2,242 \text{ в. о.}$$

1) Для трёхфазного к.з по розрахунковим кривим знаходиться:

$$I'_{0.0\text{п}13} = 0,44$$

$$I'_{0.1\text{п}13} = 0,42$$

$$I'_{\infty\text{п}13} = 0,47$$

Струми в кА:

$$I_{\text{п}13_{0.0}} = I'_{0.0\text{п}13} \cdot m \cdot I_{\text{нп}1} = 0,44 \cdot 1 \cdot 57,35 = 25,23 \text{ кА}$$

$$I_{\text{п}13_{0.1}} = I'_{0.1\text{п}13} \cdot m \cdot I_{\text{нп}1} = 0,42 \cdot 1 \cdot 57,35 = 24,09 \text{ кА}$$

$$I_{\text{п}13_{\infty}} = I'_{\infty\text{п}13} \cdot m \cdot I_{\text{нп}1} = 0,47 \cdot 1 \cdot 57,35 = 26,95 \text{ кА}$$

Ударний струм: $i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у}} \cdot I_{0.0} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 25,23 = 69,59 \text{ кА}$

Фактичний струм через реактор: $I_{\text{факт}} = I_{\text{п}13_{0.0}} = 25,23 \text{ кА}$

2) Для двофазного КЗ знаходиться:

$$I'_{0.0\text{п}12} = I'_{0.1\text{п}12} = I'_{\infty\text{п}12} = \frac{1}{X_{\text{розрах.12}}} = \frac{1}{2 \cdot 2,242} = 0,22$$

Струми в кА:

$$I_{\text{п}12_{0.0}} = I_{\text{п}12_{0.1}} = I_{\text{п}12_{\infty}} = I'_{0.0\text{п}12} \cdot m \cdot I_{\text{нп}} = 0,22 \cdot \sqrt{3} \cdot 57,35 = 22,16 \text{ кА}$$

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Результати занесені до табл.3.2

Таблиця 3.2. Результати розрахунку струму кз в точці КЗ

№ п/п	Місце к.з.	Вид к.з.	U _б	X _{э1}	X _{э2}	X _{э0}	X _э	Параметри променів				
								№	S _п	C _п	I _{нп}	X _р
1	К ₃	(3)	10,5	0,169			0,169	1	1043	1	57,35	2,242
2	К ₃	(2)	10,5	0,169	0,169		0,339	1	1043	1	57,35	4,483

Продовження таблиці 2.2

m ⁰	I* _{0.0}	I* _{0.1}	I* _∞	I _{0.0} , кА	I _{0.1} , кА	I _∞ , кА	I _{уд} , кА
1	0,44	0,42	0,47	25,23	24,09	26,95	69,59
√3	0,22	0,22	0,22	22,16	22,16	22,16	

1. Перевірку реактора на електродинамічну стійкість виконується за умовою:

$$i_{\text{дин.}} = 79 \text{ кА} > i_{\text{уд.р.}} = 69,59 \text{ кА}$$

Умова електродинамічної стійкості виконується.

2. Перевірка реактора на термічну стійкість:

Заводське значення теплового імпульсу струму к.з.:

$$B_{\text{к}}^{\text{зав.}} = I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 31,1^2 \cdot 8 = 7737,68 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$$

$I_{\text{т}} = 31,1 \text{ кА}$ струм термічної стійкості, $t_{\text{т}} = 8 \text{ с}$ - час термічної стійкості.

Розрахунковий тепловий імпульс струму к.з. за реактором:

$$B_{\text{к}}^{\text{розр.}} = I_{0.0}^2 \cdot (\tau_{\text{відкл.}} + T_a) = 25,23^2 \cdot (0,13 + 0,1) = 146,454 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$$

Приймаємо $T_a = 0,1 \text{ с}$.

Приймаємо $t_{\text{р.з.}} = 0,05 \text{ с}$.

$\tau_{\text{відкл.}} = t_{\text{в}} + t_{\text{р.з.}} = 0,08 + 0,05 = 0,13 \text{ с}$. ($t_{\text{в}} = 0,08$ - повний час відключення вимикача).

$$B_{\text{к}}^{\text{зав.}} = 7737,68 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с} > B_{\text{к}}^{\text{розр.}} = 146,454 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$$

Умова термічної стійкості виконується.

Таблиця 3.3. Вибір та перевірка реактора РБГ10-1600-0,14УЗ

№	Назва параметрів	Одиниці вимірюв.	Номінальні параметри	Розраховані параметри
---	------------------	------------------	----------------------	-----------------------

Тип реактора		РБГ-10-1600-0,14 УЗ	
1	Напруга, U	кВ	10
2	Струм, I	А	1600
3	Струм електродинам. стійк., $I_{уд.}$	кА	79
4	Тепловий імпульс струму к.з., B	$(кА)^2 \cdot с$	7737,68

2.2.2. Вибір вимикача

Визначається $I_{роб.}$ – робочий струм через вимикач:

$$I_{роб.} = \frac{P_{розр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{6,32}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85} = 0,409 \text{ кА}$$

$$I_{розр.утяж.} = \frac{P_{р.в.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot 0,95} = \frac{6,32}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 0,43 \text{ кА}$$

Вибирається вимикач типу VF 12.08.31 [4]

1. Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$i_{дин.} = 80 \text{ кА} > i_{уд.р.} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{0,0} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 25,23 = 69,59 \text{ кА}$$

Умова на електродинамічну стійкість вимикача виконується.

2. Перевірка на термічну стійкість.

Визначається розрахунковий тепловий імпульс струму к.з. за реактором:

$$\tau_{відкл.} = t_B + t_{р.з.} = 0,08 + 0,05 = 0,13 \text{ с.}$$

$t_B = 0,08$ – повний час відключення вимикача,

$t_{р.з.} = 0,05 \text{ с}$ – час дії релейного захисту,

$$T_a = 0,1 \text{ с.}$$

$$B_K^{розр.} = I_{0,0}^2 \cdot (\tau_{відкл.} + T_a) = 25,23^2 \cdot (0,13 + 0,1) = 146,454 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_K^{зав.} = 2976,75 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с} > B_K^{розр.} = 146,454 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$$

Умова на термічну стійкість вимикача виконується.

Отримані дані занесені в табл.3.4

Таблиця 3.4. Вимикач VF 12.08.31

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

№	Назва параметрів	Одиниці вимірюв.	Номінальні параметри	Розраховані параметри
	Тип вимикача		VF 12.08.31	
1	Напруга, U	кВ	10	10
2	Струм, I	А	800	334
3	Струм відключ., $I_{відкл.}$	кА	31,5	25,23
4	Струм електродинам. стійк., $I_{уд.}$	кА	80	69,59
5	Тепловий імпульс струму к.з., B	$(кА)^2 \cdot с$	2976,75	146,454

2.2.3. Вибір роз'єднувача на лінії місцевого навантаження

$$I_{розр.утяж.} = \frac{P_{р.в.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot 0,95} = \frac{6,52}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 0,44 \text{ кА}$$

Враховуючи, що роз'єднувач включається послідовно з вимикачем лінії місцевого навантаження, умови його вибору відповідають умовам вибору вимикача.

За умовами експлуатації пропонується роз'єднувач типу РВ-10/1000 УЗ [4].

Вибір та перевірка роз'єднувача здійснюється в табличній формі, де порівнюються розрахункові та паспортні дані.

Таблиця 3.5. Тип роз'єднувача РВ-10/1000 УЗ

№	Назва параметрів	Одиниці вимірюв.	Номінальні параметри	Розраховані параметри
	Тип роз'єднувача		РВ-10/100 УЗ	
1	Напруга, U	кВ	10	10
2	Струм, I	А	1000	334
4	Струм електродинам. стійк., $I_{уд.}$	кА	100	69,59
5	Тепловий імпульс струму к.з., B	$(кА)^2 \cdot с$	256	146,454

2.2.4. Вибір кабелю

Вибираємо кабель по напрузі та по допустимому струму.

$$I_{розр.утяж.} = \frac{P_{р.в.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot 0,95} = \frac{6,52}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 0,44 \text{ кА}$$

Вибираємо трьохжильний кабель АПВЭВ $U_{ном.}=10 \text{ кВ}$ [4].

Вибираємо кабель з перерізом струмопровідної жили 240 мм^2 , з

$$I_{\text{тр.доп.ном.}} = 460 \text{ А}$$

1) Визначається значення тривало допустимого струму з врахуванням поправки на кількість прокладених поруч в землі кабелів K_1 і температуру довкілля K_2 . При відстані між кабелями 100 мм $K_1 = 0.85$, $K_2 = 1$ при $t=25^\circ\text{C}$:

$$I_{\text{тр.доп.}} = 2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{тр.доп.ном.}} = 2 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 460 = 782 \text{ А}$$

Оскільки $I_{\text{л}} = 306 \text{ А} < I_{\text{тр.доп}} = 782$ то по допустимому струму кабель підходить.

2) Виконується перевірка кабелю на термічну стійкість за умовою:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}$$

мінімальний переріз кабелю, який при розрахунковому струмі к.з. обумовлює нагрів кабелю до короткочасно припустимої температури.

B_K – розрахунковий тепловий імпульс струму к.з.

C_T – функція, для кабелю до 10 кВ з алюмінієвими жилами.

$$C_T = 90 \text{ А} \cdot \text{с} \cdot \frac{1/2}{\text{мм}^2}$$

$$B_K^{\text{розр.}} = I_{0.0}^2 \cdot (\tau_{\text{відкл.}} + T_a) = 25,23^2 \cdot (0,13 + 0,1) = 146,454 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{146,454 \cdot 10^6}}{90} = 134,465 \text{ мм}^2$$

$$\text{Переріз кабелю } F_{\text{каб}} = 3 \cdot F_0 = 3 \cdot 240 = 720 \text{ мм}^2$$

$$\text{Оскільки } q_{\text{станд.}} = 720 \text{ мм}^2 > q_{\text{min}} = 134,465 \text{ мм}^2$$

Умова на термічну стійкість кабелю виконується.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

2.2.5. Вибір вимірювального трансформатора струму

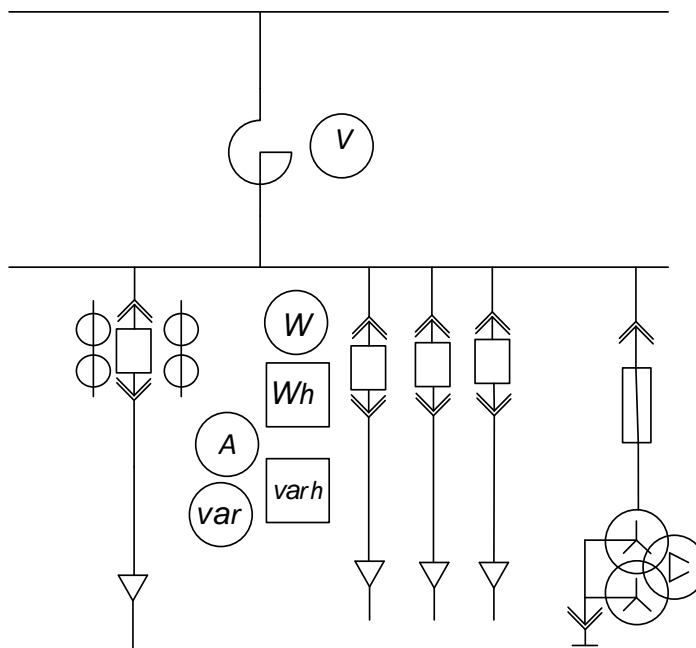


Рисунок 3.1 Вимірювальні прилади, через які проходить обмотка трансформатора струму

$$I_{\text{обм.}} = \frac{P_{\text{розр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{6,32}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85} = 0.409 \text{ кА}$$

Таблиця 3.6 Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Потужність, яка споживається послідов. обмоткою тр-ра I(S), ВА			
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	0,5	0,5	—	—
Лічильник акт.енергії	2,5	2,5	—	2,5
Лічильник реакт.енергії	2,5	2,5	—	2,5
Ватметр	0,5	0,5	—	0,5
Варметр	0,5	0,5	—	0,5
$\sum S$	6,5	6,5	0	6

$S_{\text{прил}} = 6,5 \text{ ВА}$ – сумарна потужність, що споживається приладами,

$I_{\text{ІІН}} = 5 \text{ А}$ – номінальний вторинний струм.

Визначається сумарний опір приладів:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{IIH}}^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}$$

Вибирається трансформатор струму, який для класу точності 0,5 має відповідний зовнішній опір. Вибирається трансформатор струму ТПОЛ-10 [4] з параметрами:

Таблиця 3.7 Трансформатор струму ТПОЛ-10

U_{H} , кВ	I_{IH} , А	I_{IIH} , А	Клас точності	Номінальне навантаження, Ом	$I_{\text{дин}}$, кА	$I_{\text{тер}}$, кА	$t_{\text{тер}}$, с
10	600	5	0,5	0,4	74,5	37,6	3

Перехідний опір контактів приймаємо 0,1 Ом, тоді опір проводів:

$$r_{\text{прил}} + r_{\text{контр}} + r_{\text{пр}} = z_{2\text{H}}$$

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{H}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{контр}} = 0,4 - 0,26 - 0,1 = 0,04 \text{ Ом}$$

Приймаючи довжину з'єднувальних проводів з алюмінієвими жилами 5,5 мм, визначаємо переріз:

$$q = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 5,5}{0,04} = 3,89 \text{ мм}^2$$

де $\rho=0,0283$ – питомий опір матеріалу проводу.

В якості з'єднувальних провідників приймається багатожильні контрольні кабелі КРВГ з перерізом 4 мм². Вибір трансформатору струму виконується в табличній формі.

Таблиця 3.8. Порівняльна таблиця для трансформатору струму ТПОЛ-

10

№	Назва параметру	Одиниці вимірюв.	Номінальні параметри	Розраховані параметри
	Трансформатор струму типу		ТПОЛ-10	
1	Напруга, U	кВ	10	10
2	Струм, I	А	600	317
3	Струм електродинам. стійк., $I_{\text{уд}}$	кА	74,5	69,59

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

4	Тепловий імпульс струму к.з., В	$(кА)^2 \cdot с$	4241	146,454
5	Навантаження, г	Ом	0,4	0,26

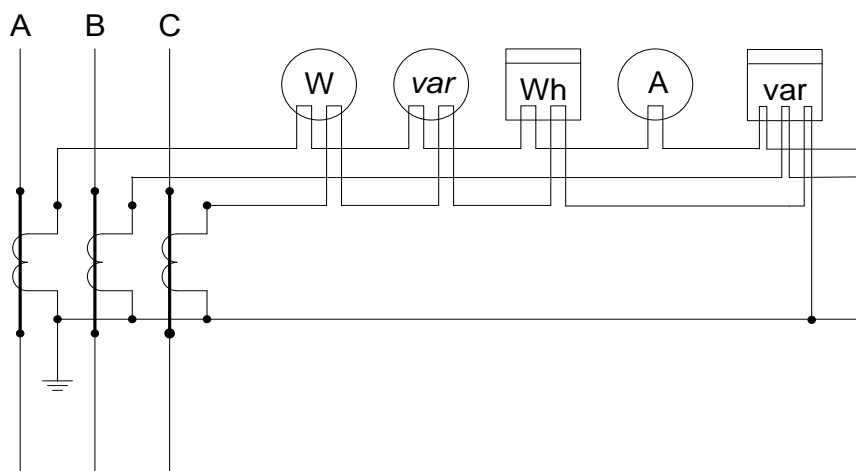


Рисунок 3.2. Схема підключення вимірювальних приладів по струму

2.2.6. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

Таблиця 3.9 Вторинне навантаження трансформаторів напруги

№ п/п	Назва приладу	Кількість	Кількість обмоток	Навантаження одного приладу		Навантаження всіх приладів	
				P, Вт	Q, ВА	$\sum P, Вт$	$\sum Q, ВА$
1	Вольтметр	1	1	2	—	2	—
2	Ватметр	4	2	2	1,85	16	14,8
3	Варметр	4	2	1,5	—	12	—
4	Лічильник реакт.енергії	4	2	—	2,5	—	20
5	Лічильник акт.енергії	4	2	3	2,775	24	22,2
	Всього					54	57

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\text{прил}}^2 + Q_{\text{прил}}^2} = \sqrt{54^2 + 57^2} = 78,52 \text{ ВА}$$

Вибираємо трансформатор напруги НТМИ-10-66 УЗ [4].

$$S_{\Sigma} = 78,52 \text{ ВА} < S_{\text{н}} = 120 \text{ ВА}$$

Таблиця 3.10 Порівняльна таблиця для трансформатору типу НТМИ-10-66 УЗ

№	Назва параметру	Одиниці вимірюв.	Номінальні параметри	Розраховані параметри
	Трансформатор напруги типу		НТМИ-10-66 УЗ	
1	Напруга, U	кВ	10	10
2	Потужність	ВА	120	78,52

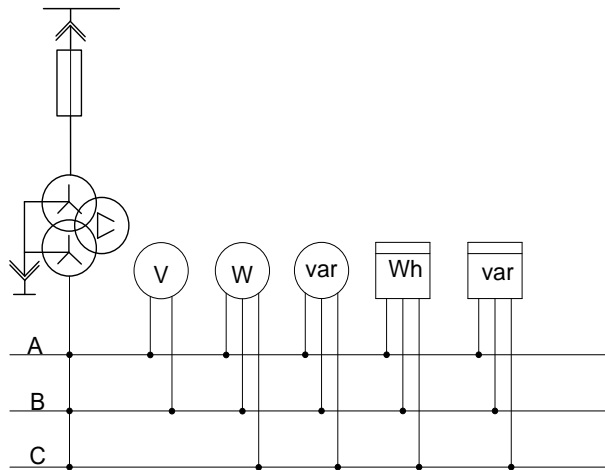


Рисунок 3.3 Схема підключення вимірювальних приладів по напрузі.

Висновок

В даному розділі дипломної роботи було перевірено і розраховано струми КЗ, також було вибрано комутаційне обладнання для розрахункового відгалудження. По розрахованим струмам КЗ було вибрано елегазовий вимикач типу вимикач VF 12.08.31 та роз'єднувач типу РВ-10/1000 УЗ та перевірено їх на надійність. Також було вибрано реактор типу РБГ10-1600-0,14УЗ та перевірено чи виконуються умови стійкості при КЗ. В даному проєкті для місцевого навантаження вибрали трьохжильний кабель АПВЭВ з перерізом струмопровідної жили 240 мм² та підтверджено його стійкість до максимально допустимого струму. Також було вибрано та представлено схему підключення вимірювальних трансформаторів струму типу ТПОЛ-10 та напруги типу НТМИ-10-66 УЗ

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

Розділ 3

Метод розрахунку самозапуску власних потреб ТЕЦ при відмові трансформатора.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

3.1. Сучасний аналіз проблеми само-запуску двигунів ВП

Для приводів механізмів ВП ТЕЦ зазвичай використовуються асинхронні двигуни з коротко-замкнутим ротором потужністю від 200 до 8000 кВт на напругу 6 кВ. Для живлення двигунів меншої потужності використовується напруга 0,4 кВ. В майбутньому ставиться задача переходу в системі ВП на напругу 10 і 0,66 кВ, що дозволить знизити струми короткого замикання, зменшити переріз кабелю або підвищити потужність електродвигунів підключених до однієї секції. Синхронні двигуни потужністю до 3000 кВт, в основному, використовуються на ТЕЦ для привода шарових вугільних млинів в майбутньому ставиться задача можливості використання СД потужністю до 20 МВт на АЕС використовують для привода головних циркулюючих насосів.

Так як, синхронні двигуни мають більш високий ККД в порівнянні з асинхронними, здатні генерувати і споживати реактивну потужність, впливаючи цим самим на втрати в мережі ВП. На режими роботи СД менше впливає живильна напруга, так як електромагнітний момент пропорційний значенню прикладеної напруги (у АД електромагнітний момент пропорційний квадрату напруги).

Електродвигуни постійного струму в системі ВП використовуються тільки на пиловугільних електростанціях, для привода живильників пилу, для привода резервних маслonaсосів і насосів системи регулювання турбіни, для приводів механізмів достатньо малої потужності.

Найбільш широкий спектр використання в системі ВП отримали АД з короткозамкнутим ротором – це можна пояснити низкою плюсів: простота конструкції, дешевизна, надійність в експлуатації, порівняно невеликими габаритами і високим ККД. Проте характерні і певні недоліки такі як, великі пускові струми, низький коефіцієнт потужності і відсутність регулювання швидкості обертання.

Одним з найбільших плюсів використання АД з короткозамкнутим ротором є можливість їх пуску від повної напруги мережі без спеціальних

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

пускових механізмів, а також можливість відновлювати нормальний режим роботи після глибоких знижень живильної напруги. При цьому велику роль грають їх пускові характеристики $M_e = f(S)$, $I = f(S)$ – залежність кратності обертового моменту і струму статора, по відношенню до їх номінальних параметрів від відносної частоти обертання, що залежать від конструкції ротора. По виконанню обмотки ротора розрізняють двигуни звичайного виконання (одиначна клітка на роторі), подвійна клітка на роторі і з глибоким пазом. На рисунку 3.1 показані приклади залежності обертових моментів і струмів статора від ковзання.

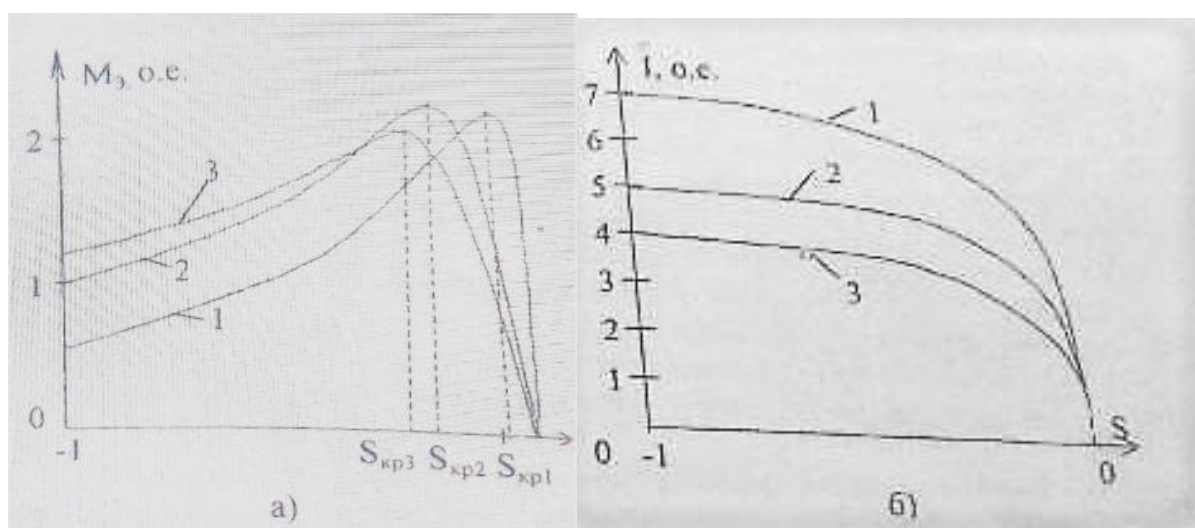


Рисунок 3.1 – Характеристики АД з короткозамкнутм ротором:

1. – двигун звичайного виконання,
2. – двигун з глибоким пазом,
3. – двигун з подвійною кліткою на роторі.

Як видно, глибоко пазні і особливо з подвійною кліткою двигуни мають кращі пускові характеристики в порівнянні з двигунами звичайного виконання, але дорожчі через більш складну конструкцію.

Споживачі ВП електростанції відносяться до 1-ї категорії і потребують електропостачання від двох незалежних джерел. В межах 1-ї категорії споживачів ТЕЦ діляться на дві групи відповідальні і не відповідальні.

Відповідальні – це такі джерела, зупинка яких приведе до аварійної зупинки блока. До відповідальним механізмам відносяться живильні, циркулюючі, конденсаційні насоси, масло-насоси турбін, генераторів, системи ущільнення, насоси газо-охолоджуючих генераторів, димососи, вентилятори. До не відповідальних механізмів відносяться зливні насоси, регенеративні підігрівачі, насоси системи гідро-золо-видалення, а також електрофільтри.

Також, на ТЕЦ знаходяться механізми загально-станційного значення. Сюди відносяться механізми виготовлення і подачі палива: дробилки, млини, вентилятори млинів, конвеєри і транспортери подачі палива, крани. Короткочасна зупинка такого обладнання зазвичай не призводить до зміни технологічного циклу виробництва.

До споживачів загально-станційного значення відносять також резервні збудники, насоси кислотної промивки, протипожежні насоси, вентиляційні установки, компенсатори, частина електроосвітлення, зарядне обладнання акумуляторних батарей. Більшість цих механізмів можна класифікувати, як не відповідальні.

До відповідальних механізмів відносяться двигуни охолодження потужних трансформаторів і резервний збудник при роботі на ньому генератора блока.

По виду момента опору механізми ВП поділяються на дві групи: з практично незалежним від частоти обертання моментом опору и з степеневою залежністю момента від частоти обертання.

В загальному випадку залежність момента опору від частоти обертання в в.о. можна віразити так:

$$M_c = M_0 + (K_3 - M_0) * \omega^n,$$

де M_0 – початковий момент опору, в.о.;

K_3 – коефіцієнт загрузки, в.о.;

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

ω – швидкість обертання агрегата, в.о;

n – показник степені залежний від типу механізму.

Можливість успішного пуску агрегата визначається поєднанням на одному графіку характеристик двигуна і механізму, розрахованому за співвідношенням, яке наведено вище. Необхідно, щоб при $\omega = 0$ виконувалась умова $M_e > M_c$, а установлена частота обертання буде визначатись перетином цих характеристик. Різниця розвиваючого двигуном моменту M_e і моменту M_c , визначає динамічний момент, від якого залежить час збільшення частоти обертання двигуна від початкової ω_1 до кінцевої ω_2 :

$$M_{зб} = M_e - M_c .$$

Загальний час пуску агрегата можна знайти з рівняння руху ротора:

$$M_e - M_c = T_j (d\omega/dt),$$

звідки

$$t_n = T_j \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{d\omega}{(M_e - M_c)} \approx T_j \left(\frac{\Delta\omega_1}{M_{зб\text{ ср}1}} + \frac{\Delta\omega_2}{M_{зб\text{ ср}2}} + \dots + \frac{\Delta\omega_n}{M_{зб\text{ ср}n}} \right),$$

T_j – механічна стала часу агрегата, с;

$\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_n$ – ділянки приросту частоти обертання, в межах яких середній динамічний момент можна вважати постійним.

В процесі пуску двигун споживає струм, значно більший за номінальний, тому при важких умовах пуску (великі махові маси, мали збиткові моменти) час пуску росте і це може призвести до небажаного нагріву обмоток. На станції найбільш важкі умови для пуску мають механізми з постійним моментом опору (млини, дробилки, транспортери). Тому двигуни для таких механізмів слід додатково перевіряти на нагрів при пускі.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Як відомо, електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату прикладеної напруги і обернено пропорційний квадрату частоти мережі. На рисунку 1.2 а, б приведені приклади залежностей обертових моментів від напруги і частоти мережі. При зменшенні напруги (рисунок 1.2а) точка перетину механічної характеристики з кривою електромагнітного моменту зміщується в сторону менших частот обертання і при деякій нарузі, розвиваючий двигуном момент стане меншим ніж момент опору.

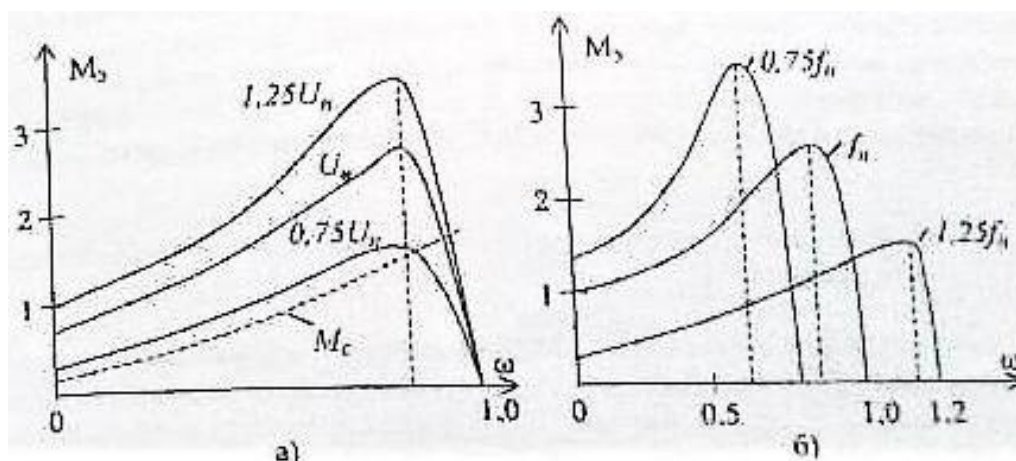


Рис. 3.2 – Залежність електромагнітного моменту АД від напруги і частоти мережі:

- а. – при різних напругах і номінальній частоті,
- б. – при різних частотах і номінальній нарузі.

У випадку постійного моменту опору двигун може гальмувати. Напруга, при якій максимальний момент двигуна стає рівним моменту опору механізму при номінальній частоті мережі, називається критичним. Якщо підведена напруга менша критичної, то точка перетину механічних характеристик двигуна і механізму лежить ліворуч від максимального моменту АД, також на не стійкій частині характеристики, що може призвести до його гальмування. Тому двигуни з великою кратністю максимального моменту зберігають стійкість навіть при великих просадках напруги. Зміна частоти мережі (рисунок 1.2б) призводить до зміни величини максимального моменту і критичного ковзання. Отже, зміна частоти в мережі призводить до збільшення

максимального моменту двигуна, при цьому частота обертання ротора двигуна змінюється по залежності близькій до прямо пропорційної. Це свідочство використовується при частотних пусках АД великої потужності. Одночасна пропорційна зміна частоти і напруги зберігає незмінним максимальне значення моменту АД і змінює частоту обертання їх роторів пропорційно зміні частоти в мережі.

3.2 Метод розрахунку самозапуску двигунів власних потреб.

Самозапуском називається встановлення нормальної роботи електропривода без втручання експлуатаційного персоналу, після короткочасного припинення живлення і глибокого зниження напруги. Цей процес вважається одним з найважливіших технічних засобів збільшення надійності роботи електричної станції. Самозапуск може бути здійсненим після короткочасного зниження напруги при близьких коротких замиканнях, або після короткочасного припинення живлення, викликаного дією АВР і АПВ. Самозапуск вважається успішним, якщо після повторної подачі напруги забезпечується розгін агрегатів до номінальної частоти обертання за час, допустимий по умові нагріву двигунів і збереження стійкості технологічної лінії. Процесу самозапуску передують режим вибігу агрегатів. Розрізняють індивідуальний і груповий вибіг електродвигунів. Індивідуальним вибігом називається процес при якому один двигун виявляється відключеним від мережі і інших двигунів, або коли електрично зв'язанні двигуни суттєво не впливають на процес вибігу (однотипні агрегати з однаковими коефіцієнтами навантаження, між двигунами увімкнений реактор або трансформатор). Зниження частоти обертання електродвигуна проходить під дією моменту опору механізму. Рівняння обертання ротора приймає такий вигляд:

$$T_j \cdot \frac{d\omega}{dt} = -M_c, \text{ в.о.},$$

де T_j – постійна часу агрегата, в.о.;

M_c – значення опору при заданій швидкості двигуна ω , в.о.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

При підживленні двигунів близького короткого замикання вибіг буде проходити по більш крутій характеристиці, в результаті виникнення додаткового гальмівного моменту.

Якщо взаємний вплив відключених від джерела живлення двигунів досить великий, то такий вибіг називається груповим. Під час цього процесу, частина двигунів, які мають великі постійні часу агрегатів, переходять у генераторний режим і віддають частину своєї критичної енергії двигунам, які мають менші постійні часу і працюють при цьому в режимі двигуна. Частота обертання двигунів, працюючих в генераторному режимі, знижується трішки швидше, а двигуни, які працюють в режимі споживання трішки повільніше ніж в режимі індивідуального вибігу. Так, наприклад, для ВП ТЕЦ при тривалості перерви живлення 1-2,5 с. частота обертання двигунів вентиляторів при груповому вибігу становить на 5% менше ніж при індивідуальному, а середня частота обертання двигунів насосів – приблизно на 15% вища ніж при індивідуальному. При вибігу двигуна, якщо пауза викликана відключенням джерела, на шинах зберігається залишкова напруга, з генерована двигунами, які перейшли в генераторний режим. Величина і швидкість затухання такої напруги визначається низкою факторів: попереднім режимом роботи, умовами вибігу, типом двигуна, електромагнітними параметрами двигуна.

Залишкова напруга на шинах ВП електростанції, змінюється не тільки по модулю, але і по фазі відносно напруги мережі. Коли напруга двигунів буде повернута на 180° по відношенню до напруги мережі, їх різниця буде максимальною. При повторній подачі напруги, в цей момент, струм увімкнення двигуна може перевищити пусковий струм більш ніж в 2 рази. Для системи ВП зміна кута між вектором залишкової напруги і напруги мережі на 180° триває 0,3 – 0,5 с., а величина залишкової напруги в цей час складає 0,5 – 0,7 номінального. Максимальне значення ударного електромагнітного моменту, в 1,5 – 2 рази перевищує момент при короткому замиканні досягається при кутах включення $180^\circ \pm (45^\circ \div 75^\circ)$. З цієї точки зору бажано мати достатньо

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

великий запас часу для відновлення напруги, щоб забезпечити достатнє зниження залишкової напруги і отримати допустимі значення ударного струму і момент при повторному включені. Напруга в шинах ВП майже повністю затухає за 2 с.. З іншої точки зору, прагнуть максимально зменшити час перерви живлення, щоб зниження частоти обертання двигунів було якомога менша, що в свою чергу спричинить полегшення самозапуску але при цьому існує небезпека несинхронних увімкнень. Тому для потужних АД і всіх СД необхідно здійснювати контроль кута включення при малих перервах живлення.

Тривалість самозапуску, обмежується нагрівом електродвигунів і необхідністю збереження технологічного режиму роботи обладнання. при зменшені кутової швидкості важливих механізмів. Для електростанції з поперечними зв'язками тривалість самозапуску обмежується тільки нагрівом електродвигунів і знаходиться в межах 25 – 35 с..

Для блочних електростанцій час самозапуску обмежується надійністю технологічного процесу і становить 20 с..

Мінімально допустима початкова напруга на шинах ВП під час самозапуску на електричній станції не блочного типу становить $0,55U_{ном}$, а для блочних – $0,65U_{ном}$.

Для оцінки можливості самозапуску використовуються, як точні, так і спрощенні методи розрахунку. Точні методи потребують спільного рішення диференціальних рівнянь перехідних процесів в усіх елементах системи ВП і можуть бути реалізовані тільки за допомогою сучасних швидкодіючих ЕОМ. Приблизний метод розрахунку характеризується малим об'ємом обчислювальних операцій і базується на застосуванні приблизних відношень, чи аналітичних виразів, які дозволяють спрощено оцінити режим вибігу або самозапуску, вибирати потужності трансформаторів ВП і склад електродвигунів, які беруть участь в процесі самозапуску. Наприклад,

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

початкову напругу під час самозапуску, можна знайти з умови самозапуску повністю зупинених двигунів, без урахування активних опорів:

$$U_{\text{поч}} = \frac{1,05 U_{\text{ном}} \cdot x_{\text{дв}\Sigma}}{x_{\text{дв}\Sigma} + x_{\text{тр}} + x_{\text{с}} + x_{\text{ш}}}$$

$$\text{де } x_{\text{дв}\Sigma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{\text{дв}i}}}, \quad x_{\text{дв}i} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} I_{\text{ном}} \cdot k_i},$$

тут $x_{\text{тр}}$, $x_{\text{с}}$, $x_{\text{ш}}$ – опір живильного трансформатора, системи і шин резервного живлення;

n – кількість двигунів під час самозапуску;

k_i – кратність пускового струму i -ого двигуна.

Графік залежності від часу для розрахунку режиму самозапуску показаний на рис. 3.3.

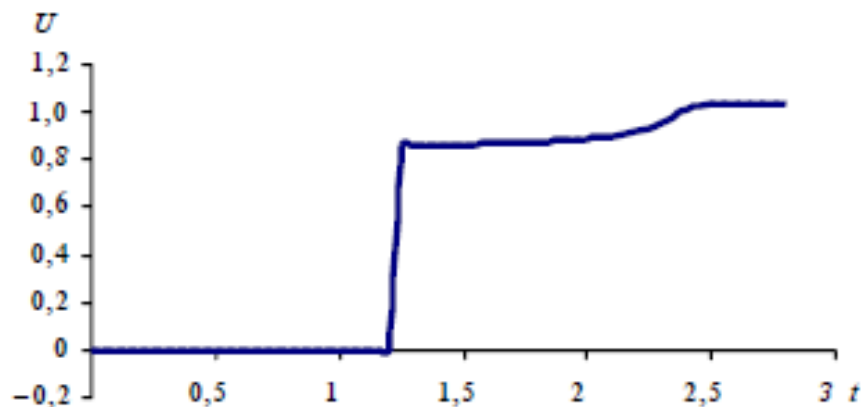


Рис. 3.3 - Графік залежності від часу для розрахунку режиму самозапуску.

Знайдена даним методом початкова напруга порівнюється з мінімально допустимою по умовам самозапуску для електричних станцій даного типу, величина якого приведена вище. Початкова напруга знайдена цим методом, може бути занижена, що призводить до неправильного висновку стосовно недопустимості самозапуску. Більш точно $U_{\text{поч}}$ можна знайти по еквівалентним узагальненим характеристикам.

Для електростанції кожного типу, з їх типовим набором механізмів для різних перерв живлення можна знайти відношення сумарного струму

самозапуска, до сумарного пускового струму зупинених двигунів. Використовуючи цей вираз можна, з достатньою для практичних цілей точністю, розрахувати початкову напругу і оцінити успішність самозапуску двигунів ВП блочної станції. В основі метода лежить заміна груп електродвигунів, підключених до секції, одним еквівалентним з узагальненими характеристиками:

$$S = f(t_{\text{пж}}), \quad I^* = \frac{I_{\text{ТЗ}}^S}{I^{S=1}} = \varphi(S),$$

де S – ковзання еквівалентного двигуна секції;

$t_{\text{пж}}$ – тривалість перерви живлення секції;

I^* – відносний струм самозапуску еквівалентного двигуна секції при ковзанні S , знаходиться як відношення струму самозапуску двигунів секції $I_{\text{ТЗ}}^S$ до сумарного пускового струму всіх секцій $I^{S=1}$.

Для секції 6 кВ ВП блочних агрегатів 200 та 300 МВт на основі великої кількості проведених дослідів були знайдені середні еквівалентні узагальнені характеристики для блоків 200 та 300 МВт, які з невеликою похибкою можна використовувати і для інших блоків теплових електростанцій.

По узагальненим характеристикам для заданого часу перерви живлення $t_{\text{тп}}$ знаходять ковзання S , а потім по ньому знаходять I^* . Величина k , обернена відносному струму самозапуску I^* , характеризує ступінь збільшення опору електродвигуна при ковзані S в кінці вибігу в порівнянні з його значенням для $S = 1$:

$$k = \frac{1}{I^*}$$

Напруга на шинах ВП під час самозапуску знаходиться так:

$$U_{\text{поч}} = \frac{1,05 U_{\text{НОМ}} \cdot x_{\text{ДВ}\Sigma} \cdot k}{x_{\text{ДВ}\Sigma} \cdot k + x_{\text{тр}} + x_{\text{с}} + x_{\text{ш}}}$$

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Самозапуск двигунів від попередньо навантаженого трансформатора вважається більш важким режимом. В якості переключеного на резервному трансформаторі ВП може бути пускове навантаження або гальмуюче навантаження на електростанції без генераторних вимикачів. В іншому випадку пуск і зупинка блоку проводиться від свого робочого трансформатора ВП.

В розрахунках це враховується шляхом паралельного складання сумарних опорів самозапущених ($x_{дв\Sigma}^{сз}$) і переключених ($x_{дв\Sigma}^{пр}$) двигунів:

$$x_{дв\Sigma} = \frac{x_{дв\Sigma}^{сз} \cdot x_{дв\Sigma}^{пр}}{x_{дв\Sigma}^{сз} + x_{дв\Sigma}^{пр}}$$

Для деяких опорів коефіцієнт навантаження переключених двигунів (k_n) може дорівнювати 0.5, а їх склад визначається режимом пуску або зупинки блока.

При більш точних розрахунках самозапуска електродвигунів розглядаються його окремі етапи: гальмування при короткому замиканні або відключення живлення, вибіг, повторне включення живлення, груповий самозапуск. При цьому зменшення швидкості обертання за час вибігу і тривалість самозапуску визначається на основі рішення рівняння руху ротора.

В процесі групового самозапуска виникає зміна ковзання, струму електродвигунів і напруги на шинах. З урахуванням цього розроблена методика графоаналітичного розрахунку групового самозапуска методом послідовних інтервалів з використанням експериментальних пускових характеристик окремих агрегатів.

Розрахунок виконується в наступній послідовності:

1. Знаходиться опір ланцюгів живлення – трансформатора, шин, системи:

$$x_{тр} = \frac{U_k(\%) \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H}, \quad x_{ш} = 0,145 \cdot l \cdot \lg \frac{a_{ср}}{0,25 \cdot h}, \quad x_c = \frac{U_H^2}{S^n},$$

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

де S_H – номінальна потужність трансформатора чи його розщепленої обмотки, МВА;

S^n – потужність короткого замикання на шинах системи, МВА;

l – довжина шин резервного живлення 6 кВ, для найбільш віддаленого блока (0,4 – 0,6) км;

$a_{cp} = \sqrt[3]{a_{12}a_{23}a_{13}}$ – середня геометрична відстань між окремими фазами шин, мм;

h – висота перерізу профіля шин, мм;

U_H – номінальна лінійна напруга, кВ.

2. Для заданого часу перерви живлення $t_{пж}$ виконується розрахунок індивідуального вибігу двигуна, використовуючи рівняння руху ротора

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \frac{m_e - m_c}{T_j} \Delta t,$$

де $m_e = 0$ для режиму індивідуального вибігу;

ω_i і ω_{i-1} – частота обертання на i -ом і попередньому кроці розрахунку;

Δt – крок розрахунку, вибирається так, щоб відрізок $t_{пж}$ був розрахований не менше 5-10 точок;

Частота обертання на початку вибігу визначається параметрами доаварійного режиму і спрощено визначається по коефіцієнту навантаження агрегата k_H і відомої частоти обертання в номінальному режимі ω_H :

$$\omega = \omega_H \cdot k_H.$$

В тому випадку, коли вибіг вважається груповим, отримані в кінці вибігу швидкості агрегатів, необхідно помножити на поправочний коефіцієнт. В залежності від режиму вибігу значення цього коефіцієнту приймається: привибігу під час к.з. на ВП для насосів 0,97; для вентиляторів 0,99;

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

пригруповому вибігу, обумовленому перервою живлення секції шин, відповідно 1,15 і 0,95.

3. Для розрахунку режиму самозапуску необхідно знати пускові характеристики двигунів. При відсутності експериментальних пускових характеристик можна скористатись наступним спрощеним виразом для їх знаходження:

- для обертового моменту:

$$m_{OM}(s) = \frac{2m_M}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} + \Delta m_n \sqrt{s},$$

де $s_{кр} = s_{НОМ} (m_M + \sqrt{m_M^2 - 1})$ – критичне ковзання;

m_M – максимальний електромагнітний момент двигуна;

$$\Delta m_n = m_{\Pi} - \frac{2m_M s_{кр}}{1 + s_{кр}^2} - \text{різниця моментів при } s=1;$$

m_{Π} – кратність пускового моменту двигуна ($s=1$):

- для струму статора:

$$i_s(s) = \frac{k_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{s_{кр}}{s}\right)^2}}$$

де k_{Π} – кратність пускового струму статора ($s=1$).

При необхідності більш точного розрахунку режиму самозапуску необхідно пускові характеристики двигунів визначити по їх багатоконтурним схемам заміщення.

Знаючи залежність струму статора від ковзання можна визначити опір кожного k -го двигуна до моменту повторної подачі напруги і загальний їх опір:

$$x_{двк} = \frac{1}{i_{sk}(s)} \cdot \frac{U_H}{\sqrt{3}I_H}, \text{ Ом}$$

$$x_{дв\Sigma} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{x_{двк}}}, \text{ Ом}$$

4. Знаходиться сумарний опір схеми заміщення, струм і напруга на зажимах двигунів:

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

$$x_{\Sigma} = x_c + x_{\text{тр}} + x_{\text{ш}} + x_{\text{дв}\Sigma}, \text{ Ом}$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{1.05U_{\text{н}}}{\sqrt{3}x_{\Sigma}}, \text{ А}$$

$$U_{\text{сз}} = \sqrt{3}I_{\text{сз}} \cdot x_{\text{дв}\Sigma}, \text{ В}$$

5. По моментним характеристикам агрегатів для отриманих швидкостей обертання знаходимо моменти опору механізмів і обертові моменти електродвигунів, які згодом приводяться до фактичної початкової напруги під час самозапуску:

$$m_{\text{об сз}} = m_{\text{об}} U_{\text{н}} \left(\frac{U_{\text{сз}}}{U_{\text{н}}} \right)^2.$$

6. Для першого прийнятого інтервалу часу Δt визначаємо збитковий момент для кожного агрегата:

$$m_{\text{зб}} = m_{\text{об сз}} - m_c.$$

7. Вважаючи, що $m_{\text{зб}}$ на протязі деякого невеликого проміжку часу Δt_1 залишається постійним, знаходимо приріст швидкості обертання кожного агрегата:

$$\Delta\omega_i = \frac{\Delta t_i \cdot m_{\text{зб}}}{T_j}.$$

8. Знаходимо нове значення швидкості обертання всіх агрегатів в кінці прийнятого проміжку часу Δt_1 :

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta\omega_i.$$

9. Повторюємо весь розрахунок по пунктах 3-8 і знаходимо швидкість обертання агрегатів ω в кінці проміжків часу $\Delta t_2, \Delta t_3$ і так далі. Розрахунок ведеться до тих пір поки струми і швидкості двигунів не досягнуть значень попереднього режиму. Час самозапуску окремих двигунів визначаємо, як суму інтервалів, на протязі яких двигун отримував прискорення і його швидкість була менше швидкості при попередньому режимі роботи:

$$t_{\text{сз}} = \sum_{i=1}^m \Delta t_i.$$

Таким чином, розрахунок по графічноаналітичному методу виконується тільки при детальному аналізі процесу самозапуску, коли необхідно знайти час розвороту найбільш відповідальних механізмів ВП.

3.3 Моделювання самозапуску асинхронного двигуна

Опис моделі мережі з асинхронними двигунами по якій здійснювалось дослідження:

Повна потужність j -го вузла ЕЕС:

$$\dot{S}_j = P_j \pm jQ_j,$$

де: $P_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} P_i + P_{jcm}$ - активна складова повної потужності j -го вузла, яка

включає сумарну активну потужність n_{ac} асинхронних, та статичне навантаження P_{jcm} ;

$Q_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} Q_i + Q_{jcm}$ - реактивна складова повної потужності j -го вузла, яка

включає сумарну реактивну потужність n_{ac} асинхронних, машин та статичне навантаження Q_{jcm} ;

Активну та реактивну потужність i -ї асинхронної машини j -го вузла описується рівняннями:

$$P_i = U_j^2 \frac{\beta}{\alpha^2 + \beta^2};$$

$$Q_i = U_j^2 \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2},$$

де: U_j - модуль напруги j вузла;

$\alpha = x_s'' + \frac{N}{1+s^2T_1^2} + \frac{M}{1+s^2T_2^2}$ - реактивна складова повного опору

асинхронної машини;

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

$$\beta = \frac{sNT_1}{1+s^2T_1^2} + \frac{sMT_2}{1+s^2T_2^2} - \text{активна складова повного опору асинхронної}$$

машини;

x_s'', N, M, T_1, T_2 – параметри асинхронної машини.

S – ковзання ротора асинхронної машини.

Напруга j -го вузла в усталеному режимі визначається за формулою:

$$\dot{U}_j = \left(\frac{\dot{S}_j}{\dot{U}_j} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{z_{j-k}} \right) / \sum_{i=1}^m \frac{1}{z_{j-k}},$$

де: z_{j-k} - повний опір між вузлами j і k ;

\dot{U}_k - напруга k -го вузла, з яким має зв'язок вузол j ;

m - кількість вузлів, з якими має зв'язок вузол j .

Вихідні дані до розрахунку режиму СЗ секції власних потреб блоку 300 МВт показані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані до розрахунку режиму СЗ секції власних потреб блоку 300 МВт

Поряд	1	2	3	4	5	6
Вузол	1	1	1	1	1	1
Назва	ЖЕН	БН	ЦН	КН	Д	ДВ
Рн, МВ	8	0.5	0.5	0.5	1.7	0.8
Un, кВ	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
cosφ	0.89	0.89	0.765	0.89	0.793	0.88
пн, об/г	3000	3000	375	1500	500	750
п, об/х	2960	2975	372	1480	496	743
кд	5.8	5.5	4.6	5.7	4.5	5.5
bn	2.4	2.1	2.6	2	2.3	2.7
mk	0.8	0.8	0.8	1.1	0.9	0.8
m min	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
КК, %	96	93.5	91.2	93	94.3	92.5
Tj, с.	25.343	4.9450	7.7266	1.2362	10.100	15.45
k загр	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Тип на	1	1	1	1	1	1
m0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
m05	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
m5min	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
smin	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Umin	0	0	0	0	0	0
dT	99	99	99	99	99	99
xs11	0.1696	0.1767	0.2173	0.2215	0.1677	0.167

Результати розрахунку режиму самозапуску секції власних потреб блоку 300 МВт часовому періоді комутації рівному $\Delta t = 1,5$ сек показані на рис.3.4.

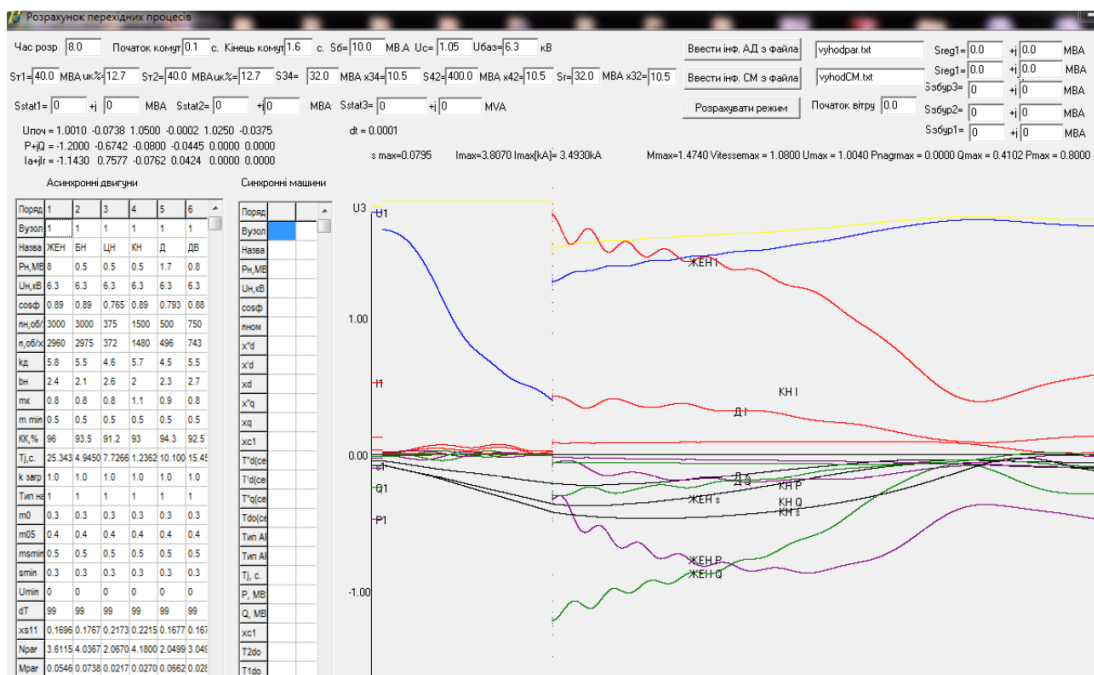


Рис. 3.4 - результати розрахунку режиму самозапуску секції власних потреб блоку на часовому періоді комутації рівному $\Delta t = 1,5$ сек 300 МВт

3.4.Розрахунок вибігу АД

Індивідуальний вибіг при наявності близького КЗ, що має місце для розрахункового випадку, відбувається по більш крутій характеристиці, ніж при вільному вибігу так як двигун переходить у генераторний режим. В асинхронному двигуні, внаслідок швидкого загасання ЕРС, гальмівний момент практично не викликає додаткового гальмування і в розрахунках, як правило, не враховуються.

Таким чином, розрахунок індивідуального вибігу без урахування електромагнітних перехідних процесів пов'язаний з рішенням диференціального рівняння руху, яке може бути записано у вигляді:

$$T_j \frac{d\omega}{dt} = m_c \quad ; \text{ або } \quad T_j \frac{ds}{dt} = m_c .$$

З огляду на гладкості функції m_c для вирішення рівняння можуть бути використані прості методи чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, наприклад, метод Ейлера. Кінцевою метою розрахунку вибігу є побудова кривих вибігу і знаходження швидкості електродвигунів до моменту відновлення живлення.

При $m_c = \text{const}$ можна отримати криву вибігу у вигляді:

$$\omega = \omega_{\text{нач}} - \frac{m_c}{T_j} t ,$$

де $\omega_{\text{нач}}$ - початкова частота обертання.

Практично, якщо час перерви живлення або КЗ менше T_j в п'ять і більше разів, можна користуватися формулою незалежно від характеру моменту опору механізму.

При чисельному рішенні методом Ейлера алгоритм рішення будується на послідовності часових інтервалів Δt . Так при вирішенні рівняння знаходиться приріст ковзання Δs_i кожному інтервалі:

$$\Delta s_i = \frac{m_{ci}}{T_j} \Delta t ,$$

де m_{ci} знаходиться по формулі і ковзання на початку наступного інтервалу s_{i+1} знаходиться як:

$$s_{i+1} = s_i + \Delta s_i .$$

Алгоритм розрахунку індивідуального вибігу представлений в прикладі

3.

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

При груповому вибігу розрахунок залежності частоти обертання від часу без обліку електромагнітних перехідних процесів може бути отриманий еквівалентуванням навантаження на двигуні, заснованої на двох припущеннях:

- алгебраїчна сума потужностей, перерозподілених між окремими двигунами при їх груповому вибігу дорівнює нулю;
- швидкість зміни частоти обертання всіх двигунів однакова.

З урахуванням цих припущень синхронна частота обертання на секції в процесі вибігу визначається як середньозважена швидкість:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ji} P_{Hi} \omega_i(t)}{\sum_{i=1}^n T_{ji} P_{Hi}},$$

де $\omega_i(t)$ - частота вращення і-го двигуна в момент часу t при індивідуальному вибігу; n - число двигунів, що беруть участь в груповому вибігу.

Використання формули передбачає розрахунок індивідуального вибігу за викладеними раніше алгоритмам і подальше еквівалентування їх для заданого часу перерви електропостачання або роботи на віддалене КЗ. Розгляд групового вибігу при роботі на КЗ має сенс тільки при достатньо великому зовнішньому опорі. При КЗ на живильної секції шин точка КЗ розділяє двигуни, і вибіг стає індивідуальним.

Похибка розрахунку за виразом зростає зі збільшенням розкиду постійних інерції T_j .

У тому випадку, коли вибігають електродвигуни з однаковим характером механічних характеристик, можна звести задачу до вирішення одного рівняння руху з еквівалентної постійної інерції:

$$T_{j\text{Э}} = \frac{\sum_{i=0}^n J_n \omega_{0i}^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}}$$

Розв'язок рівняння руху проводиться при цьому для характерного двигуна групи.

Слід зазначити наближеність розглянутих алгоритмів групового вибігу. Більш точно можна вирішити цю задачу лише з урахуванням електромагнітних перехідних процесів, де питання обміну енергією вирішуються автоматично.

Розрахунок індивідуального вибігу електродвигунів.

В даному випадку, як було сказано раніше, розраховується індивідуальний вибіг, тому що зовнішнє КЗ сталося поблизу шин. Під час вибігу асинхронні двигуни не роблять істотного впливу друг на друга і не обмінюються потужністю.

1. Кутова швидкість електродвигуна формула:

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = \frac{2\pi 2973}{60} = 311,3 \text{ c}^{-1}$$

2. Наведений момент інерції формула:

$$J_{np} = J_{дв} + J_{мех} = 24 + 20 = 44 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

3. Електромеханічна постійна часу формула:

$$T_{jn} = 44 \cdot \frac{311,3^2}{2,5 \cdot 10^6} = 1,706 \text{ с}$$

					141.61101.004.БР.3	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

4. Розрахунок індивідуального вибігу електродвигунів без урахування електромагнітних перехідних процесів проводиться на основі рішення диференціального рівняння методом Ейлера.

Приріст ковзання Δs_i на кожному інтервалі:

$$\Delta s_i = \frac{m_c}{T_j} \Delta t$$

ковзання на початку наступного інтервалу s_{i+1} знаходиться як:

$$s_{i+1} = s_i + \Delta s_i$$

У розрахунку вибігання інтервал часу приймаємо рівним $\Delta t = 0,1c$,
 $s_{НОМ} = s_0 = 0,009$.

Вихідні дані для розрахунку вибігу двигуна наведені вище. Результати розрахунку зведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати розрахунків вибігу електродвигунів

$t + \Delta t$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Двигун 1										
s	0,067	0,1185	0,1654	0,208	0,247	0,2827	0,3157	0,346	0,374	0,401
t	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
s_{i+1}	0,426	0,449	0,471	0,492	0,511	0,5295	0,547	0,564	0,58	0,595
Двигун 2										
s	0,067	0,1195	0,1675	0,212	0,253	0,291	0,326	0,359	0,39	0,419
t	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2

s_{i+1}	0,4465	0,473	0,497	0,522	0,543	0,565	0,5856	0,605	0,624	0,642
Двигун 3										
s	0,067	0,121	0,1716	0,2192	0,2641	0,3065	0,347	0,385	0,422	0,457
t	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
s_{i+1}	0,491	0,523	0,555	0,585	0,6145	0,643	0,671	0,698	0,724	0,751

Висновки:

В даному розділі дипломного проекту було досліджено методику аналізу і розрахунку самозапуску двигунів власних потреб. Були представлені приклади розрахунку усталеного режиму і режиму самозапуску асинхронного двигуна. Побудувавши схему заміщення, та маючи вихідні параметри двигуна я розрахував такі параметри: ковзання, опір, реактивну потужність, струми, та їх складові, а також ЕРС. На основі цих даних, було розраховано режим самозапуску при $\Delta t_1 = 1.5$ сек, та виявлено, самозапуск був здійснений успішно. Вони ілюструють саму методику розрахунку та показують значення параметрів АД. Дослідження стійкості механізмів ВП теплових електростанцій приділяється велика увага. Для оцінки успішності самозапуску механізмів ВП застосовуються різні методи розрахунку, засновані на рішенні системи диференціальних рівнянь, що описують роботу АД, що живляться від загальних шин. Правильний вибір уставок і витримок часу електричних

захистів і узгодження з уставками і витримками часу технологічних захистів дозволяє забезпечити підсумкову успішність самозапуску двигунів ВП.

Одним з основних джерел зовнішніх збурень на нормальну роботу приводних двигунів являється коротке замикання (КЗ) в системі електропостачання, яке характеризується як ступенем віддаленості від споживачів, так і тривалістю дії. Наприклад, чим більше тривалість дії КЗ, тим важче будуть умови самозапуску. Успішність самозапуску і його тривалість в значній мірі залежить від тривалості перерви живлення. Зі зменшенням паузи електродвигуни менше гальмуються, обмежуються струми самозапуска і підвищується напруга на шинах в момент підключення джерела живлення.

Загальні висновки до дипломного проєкту:

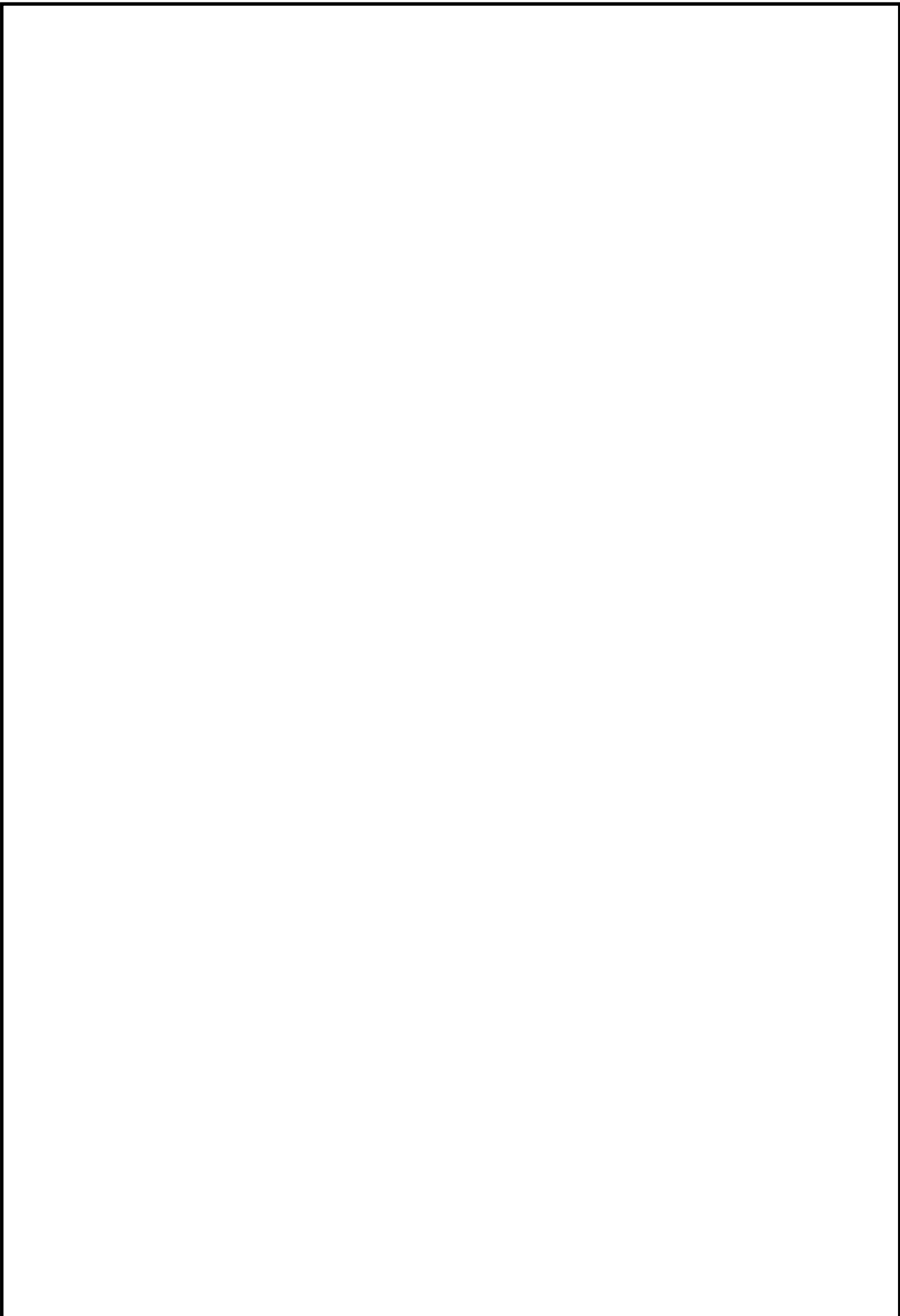
Дипломний проєкт виконаний у відповідності до завдання та задовольняє зазначенні для нього вимоги. Проведений детальний вибір електро-технічного обладнання. Виконана та перевірена можливість його роботи в штатних та аварійних режимах. На основі техніко-економічного порівняння двох варіантів структурної схеми ТЕЦ, вибрано 2-ий варіант електричної схеми станції: 3 генератори типу ТВФ-63-2УЗ для збірних шин РУ 10,5 кВ; 2 блочних типу ТВФ-120-2УЗ один з яких приєднаний до шин РУ 110 кВ, а інший до шин РУ 330 кВ; і 2 генератори типу ТВФ-300УЗ один з яких приєднаний до автотрансформатора типу АТДЦТН-200000/330/110, а інший, блочний, працює на шинах РУ 330 кВ.

Зроблено вибір основного електротехнічного обладнання станції. З використанням розрахунків струмів короткого замикання вибрано комутаційне та струмовідне обладнання, а також перевірено його надійність.

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

У спеціальній частині розглянуто динамічний режим АД власних потреб при відмові робочого трансформатора ВП. Представлений метод розрахунку самозапуску двигунів ВП. В загальному, по електротехнічним і економічним показникам спроектованна ТЕЦ відповідає аналогічним станціям, що знаходяться в експлуатації України.

					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83



					141.61101.004.БР.3	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85