

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Проект електричної частини теплової електростанції (ТЕС)

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

Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу група ЕТс-20-1


Підпис

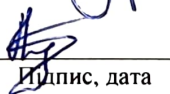
В.М. Кулько
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

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

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

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

20 06 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Спеціалізація Електропобутова техніка

Освітня програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


20.06.2023

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Кулько Владислав Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Проект електричної частини теплової електростанції (ТЕС)

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

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

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

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20.06.23

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

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих процесів та обладнання для проекту ТЕС.

2. Проектування головної схеми підключення ТЕС. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Загальні висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Класифікація типів ТЕС на органічному паливі (ДІ, А1). 2. Головна схема електричних з'єднань проекту ТЕС (ДІ, А1). 3-4. Схеми розрахунків та заміщень для струмів КЗ (ДІ, 2 А1). 5. Головна схема електричних з'єднань проекту ТЕС (ЕЗ, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих процесів та обладнання для проекту ТЕС	1.06.23	
2. Проектування головної схеми підключення ТЕС	8.06.23	
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність	15.06.23	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	21.06.23	

Студент

Кулько
Підпис

В.М. Кулько
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Майдан
Підпис

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Кулько Владислав Миколайович
2. Тема магістерської роботи Проект електричної частини теплової електростанції (ТЕС)
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 79
5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: Вступ. 1 Огляд та аналіз існуючих процесів та обладнання для проекту ТЕС. 2. Проектування головної схеми підключення ТЕС. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Висновки.

Підпис студента 

"26" 06 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №1 від "27" 06 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4.0/5
Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____





Технічний секретар 

"27" 06 2023 р.

Зміст

	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз існуючих процесів та обладнання для проєкту ТЕС	7
1.1 Загальні відомості про теплові електростанції	7
1.2 Розрахунок параметрів головної схеми електричних з'єднань для проєкту ТЕС	13
Висновки до розділу	15
2 Проєктування головної схеми підключення ТЕС	16
2.1 Розрахунок кількості ліній електропередачі та підбір схеми ВРУ	16
2.2 Визначення параметрів елементів схеми заміщення та розрахунок виникаючих струмів КЗ	18
Висновки до розділу	59
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність	60
3.1 Розрахунок та підбір вимикачів та роз'єднувачів для проєкту ТЕС	60
3.2 Розрахунок та вибір вимірювальних трансформаторів	69
Висновки до розділу	74
Загальні висновки	75
Перелік джерел посилань	76
Додатки	79

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			
Виконав		Кулько В.М.			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Майдан П.С.					
Н.контр.		Мундія О.І.			ХНУ гр. ЕТс-20-2		
Затвер.		Полішук О.С.					
Проєкт електричної частини теплової електростанції (ТЕС)							

Вступ

Загально відомо, що споживання енергії є обов'язковою умовою існування всього людства. Наявність доступної для споживання енергії завжди була необхідною для задоволення потреб людини, поліпшення умов життя та збільшення довготривалості.

На сучасному етапі розвитку людства енергетика є основою для базових галузей промисловості, що визначають прогрес всього суспільного виробництва. В більшості промислово розвинених країн саме темпи розвитку енергетики випереджали темпи розвитку всіх інших галузей.

Водночас енергетика - одне із головних джерел несприятливого впливу на людину та навколишнє середовище в цілому. Енергетика має суттєвий вплив на біосферу, літосферу, гідросферу та на атмосферу.

Відомо, що електрична станція - енергетична установка, що використовується для перетворення будь-якого іншого виду енергії в електричний. Тип електричної станції залежить саме від виду енергоносія. Найбільшого поширення набули саме теплові електричні станції або ТЕС, на яких в якості енергоносія використовується теплова енергія, що виділяється під час спалювання органічного палива (нафта, газ чи вугілля) [1].

Відомо, що на ТЕС виробляється близько $\frac{3}{4}$ всієї електроенергії, виробленої на планеті. Це пов'язане з тим, що органічне паливо присутнє майже в усіх районах планети; технічним прогресом на ТЕС, який дозволив спорудження електростанцій великої потужності; можливістю переміщення органічного палива на електростанцію із місця видобутку, якщо електростанція розташована поблизу споживачів електроенергії; можливістю використання не лише електричної енергії, а і відпрацьованого тепла робочого тіла та відпуску його споживачам.

Загально відомо, що єдина енергосистема (ЄЕС) України складається із восьми регіональних електроенергетичних систем - Північної, Дніпровської,

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

Донбаської, Західної, Південно-Західної, Південної, Кримської та Центральної, які об'єднані системо-утворюючими та міждержавними високовольтними лініями електропередач (ЛЕП).

Встановлена потужність електростанцій України (сумарна) – 53,8 ГВт, шести гідравлічних – 5,5 ГВт, (на превеликий жаль вже п'яти гідравлічних електростанцій) та п'яти атомних – 13,8 ГВт [1, 2].

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

1 Огляд та аналіз існуючих процесів та обладнання для проєкту ТЕС

1.1 Загальні відомості про теплові електростанції

Загально відомо, що різновидом ТЕС є, так звана, теплоенергоцентраль (ТЕЦ) або теплова електростанція, що виробляє не лише електроенергію, а і теплову енергію, яка у вигляді гарячої води через теплові мережі транспортується у наші радіатори опалення.

У машинному залі такої ТЕС розташовано котел із водою. Під час згоряння органічного палива вода в котлі нагрівається до кількох сотень градусів та відбувається перетворення на пару. Отримана таким чином пара під тиском починає обертати лопаті турбіни, турбіна з іншого боку починає обертати генератор, який в свою чергу буде виробляти електричний струм [3].

Передача електроенергії від ТЕС за допомогою ЛЕП виконується за рівнів напруги в діапазоні 100-500 кВ, тобто таких, що значно перевищують рівень напруги на генераторі. Таке підвищення рівня напруги необхідне для якісної передачі електроенергії на досить великі відстані. Потім виконується зворотне зниження рівня напруги до рівня, який необхідний споживачеві, зазвичай 0,4 кВ. Перетворення рівнів напруги виконується на електричних підстанціях за допомогою використання трансформаторів. А теплова енергія у вигляді гарячої води транспортується із ТЕЦ теплотрасами, які змонтовані під землею для зниження тепловтрат [3, 4].

Ключовою особливістю ТЕЦ є те, що відпрацьовану в турбіні гарячу воду або пару потім застосовують для гарячого водопостачання та опалення комунальної та промислової сфер. ТЕЦ розташовують переважно у великих містах, оскільки ефективне транспортування пари або гарячої води через досить суттєві втрати тепла в трубах можливо на відстанях, які не перевищують 20-25 км. Крім того, для зниження теплових втрат, конструкції ТЕЦ необхідно доповнювати невеликими підстанціями, які мають розташовуватись недалеко від

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

палива в навколишнє середовище виділяється вуглекислий газ (CO_2), окис азоту (NO_2) та сірчистий ангідрид (SO_2), які повинні бути видалені з бойлера.

Дуже легкий зольний пил перебуває в бойлері разом із іншими гарячими газами. Електростатичний прилад, який використовується для осадження пилу із повітря (або інакше - величезний повітряний фільтр) видаляє майже 100% зольного пилу до того, як гази із топки пальника розсіються в навколишньому середовищі.

Зольний залишок, який отримується із грубих уламків, що падають під власною вагою на дно бойлера, видаляється пізніше.

Позиція №5. Турбогенератор (див. рис. 1.1) - вода у випарних трубах котла нагрівається за рахунок тепла із бойлеру і відбувається перетворення на пару.

Пара під високим тиском з бойлера надходить на турбіну, шойно вона досягне лопатей турбіни, турбіну почне швидко обертатися. В свою чергу турбіна змусить обертатися вісь розташовану усередині генератора – це призведе до створення електричного струму.

Позиція №6. Система водяного охолодження або конденсатор (див. рис. 1.1) - охолоджена вода транспортується в установку та циркулює по мережі яка об'єднує конденсатори, які використовуються для охолодження пари, що відводиться від турбіни ТЕС. Пара з турбіни ТЕС транспортується через конденсатори по окремих від охолодженої води трубах. Від цього холодна вода нагрівається за рахунок пари, в якій відбувається перехід із газоподібного в рідкий стан, транспортується назад у бойлер для того, щоб знову почати процес утворення електричної енергії. Вода, яка використовується для охолодження пари, тепер тепла за рахунок руху через теплообмінник у конденсаторі, видаляється з установки ТЕС.

Позиція №7. Водочисна станція водопостачання (див. рис. 1.1) - для зниження корозійних властивостей води, яка застосовується у випарних трубах котла, повинна пройти очищення. Інші системи для очищення природних вод на ТЕС збирають воду, яка необхідна для виконання процесу очистки труб та

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

іншого обладнання і просто осідає внаслідок виконання процесу очищення. Вода, що скидається з мереж, відкачується у спеціальні відстійні ставки.

Позиція №8. Осаджувач, зольна система (див. рис. 1.1) - зола, яка осідає на пластинах осаджувача, видаляється та збирається у величезних спеціалізованих накопичувачах. Утворений зольний пил та зольний залишок видаляються з ТЕС та транспортуються або у відстійні ставки або на спеціалізовані місця захоронення відходів.

Позиція №9. Електропідстанція, трансформатори (рис. 1.1) - при виробленні електричної енергії трансформатори підвищують рівні напруги так, чином щоб електроенергія могла транспортуватись через ЛЕП на великі відстані.

Як тільки електрична енергія потрапляє на електропідстанції міста або населеного пункту, рівень напруги, яка протікає через ЛЕП, понижується до проміжного рівня в 10кВ, потім понижується повторно для доставки електроенергії безпосередньо споживачам [5].

Типи ТЕС та особливості конструкції [3, 4]

На рисунку 1.2 представлено класифікацію ТЕС, які працюють на органічному паливі.

Серед конструкцій ТЕС найпоширенішими є теплові паротурбінні (ПТУ) ТЕС, на яких теплову енергію використовують для одержання у парогенераторі водяної пари високого тиску, яка в свою чергу використовується для обертання ротора парової турбіни, що з'єднаний із ротором електричного генератора. Як паливо на такому типі ТЕС використовують органічне, а саме мазут, природний газ або вугілля.

ПТУ, що оснащені в якості приводу електрогенераторів конденсаційними турбінами та не використовують тепло відпрацьованої пари для постачання теплової енергії споживачам, носять назву конденсаційних електростанцій. ПТУ, оснащені теплофікаційними турбінами, які використовуються для транспортування теплової енергії відпрацьованої пари промисловим чи побутовим споживачам, носять назву ТЕЦ [4].

										Арк.
										10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 23.00.00.000 ПЗ					

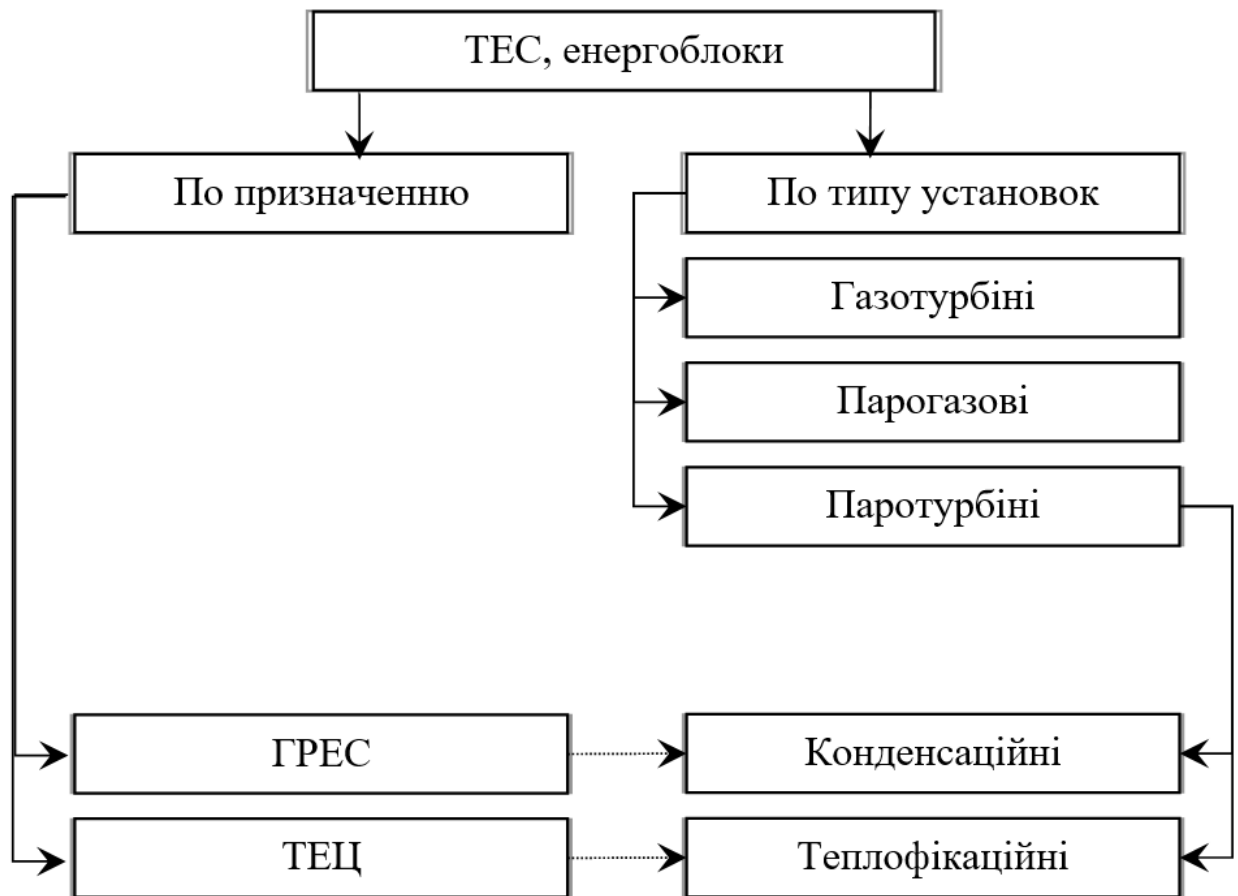


Рисунок 1.2 – Типи ТЕС, які працюють на органічному паливі

ТЕС які в якості приводу для електрогенератора використовують газові турбіни носять назву газотурбінних електростанцій (або ТЕС із ГТУ – із газотурбінною установкою), у камері згоряння ГТУ відбувається процес згоряння рідкого палива або газу; продукти згоряння із температурою в діапазоні 750-900 °С надходять до газової турбіни, що в свою чергу обертає електрогенератор. ККД даних ТЕС із використанням ГТУ складає приблизно 30-33%, загальна потужність - до кількох сотень МВт. ГТУ зазвичай використовують для згладжування піків електричного навантаження [3, 4].

ТЕС із парогазотурбінною установкою, що складається з двох агрегатів – паро- та газотурбінного, носить назву парогазової електростанції (або ТЕС із ПГУ, або просто - ПГУ). ККД даної установки може досягати 56-68%. ТЕС із використанням ГТУ або ПГУ можуть транспортувати теплову енергію зовнішнім споживачам, тобто працювати в режимі ТЕЦ [4].

підігрівачах 6 та 9. Конденсат за допомогою насосу 5 через деаератор 7 та насос живлення 8 транспортується в парогенератор. Теплові конденсаційні електростанції мають досить невисокий ккд (на рівні 35-40%), оскільки більша частина отриманої енергії втрачається разом із топковими газами, що викидаються, і охолоджувальною водою конденсатора [3, 4].

1.2 Розрахунок параметрів головної схеми електричних з'єднань для проекту ТЕС

1.2.1 Вибір основного обладнання для проекту ТЕС

Згідно із поставленим технічним завданням до проектування ТЕС приймаємо наступний варіант головної схеми: до відкритих розподільчих установок (ВРУ) середнього рівня напруги (СН) під'єднано два генератори потужність по 200 МВт, до ВРУ вищого рівня напруги (ВН) в свою чергу, під'єднано три генератори з такою самою потужністю (див. рис 1.4)

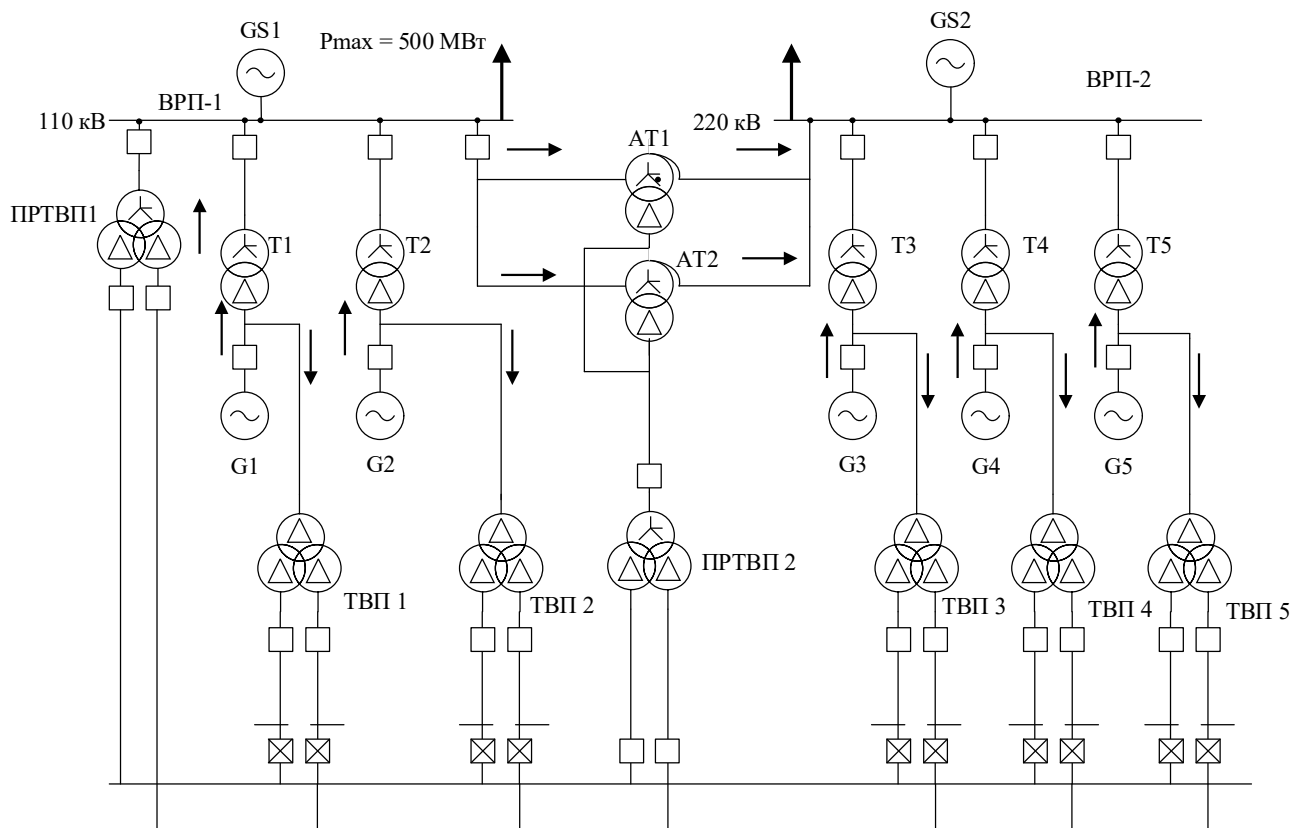


Рисунок 1.4 – Головна схема електричних з'єднань проекту ТЕС

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.
13

Приймаємо до розрахунків навантаження власних потреб (ВП) у відсотках до номінальної потужності генератора на рівні 8% [6, 7, 8].

Число резервних трансформаторів для проєкту ТЕС приймається рівним двом, тому що число приєднаних блоків менше восьми. При цьому один з них приєднано до шин ВРП ВП, а другий приєднано до сторони нижчого рівня напруги (НН) автотрансформатора зв'язку.

Вибір основного обладнання наведено в таблиці А.1, Додаток А.

1.2.2 Вибір автотрансформаторів зв'язку для проєкту ТЕС

Перетік потужності у нормальному режимі роботи обладнання [6, 7]:

$$S_{пер} = \frac{(P_{бл} - P_{ВП})n_{бл.ВРП1}}{\cos \varphi_r} - \frac{P_{НГ, \max}}{\cos \varphi_{нз}}; \quad (1.1)$$

$$S_{пер} = \frac{(200 - 18,82) \cdot 2}{0,85} - \frac{500}{0,8} = -198,7 \text{ МВА.}$$

Перетік потужності в аварійному режимі роботи (коли один із генераторів, що відноситься до ВРУ ВП знаходиться на ремонтному обслуговуванні):

$$S_{пер.рем.} = \frac{(200 - 18,82) \cdot (2 - 1)}{0,85} - \frac{500}{0,8} = -411,85 \text{ МВА.}$$

Результати проведених аналітичних розрахунків перетоку зведено в таблицю А.2, Додаток А.

Для полегшення сприйняття наведено енергетичні параметри обраного обладнання у вигляді таблиці А.3, Додаток А.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

Було проаналізовано загальні відомості про види теплових електростанцій. Виконано розрахунок параметрів головної схеми електричних з'єднань для проєкту ТЕС, а саме вибрано основне обладнання та вибрано автотрансформатори зв'язку для проєкту ТЕС, результати вибору зведено до табличного вигляду.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 Проектування головної схеми підключення ТЕС

2.1 Розрахунок кількості ліній електропередачі та підбір схеми ВРУ

Кількість ЛЕП для ВРУ, завжди розраховується у відповідності до величини потужності, яку необхідно транспортувати за наступною формулою:

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\text{екон}}}, \quad (2.1)$$

де P_{\max} – передана загальна потужність із шин ВРУ в максимальному режимі роботи обладнання; $P_{\text{екон}}$ – економічна потужність однієї лінії ЛЕП, величина визначається відповідно до довідкової літератури [12].

2.1.1 Розрахунок необхідної кількості ліній ЛЕП, що відходять від ВРУ 110 кВ

Приймаємо поперечний переріз кабелю - $q = 400 \text{ мм}^2$, тоді визначаємо економічну потужність лінії ЛЕП з довідника [12-14]:

$$P_{\text{екон}} = 79,3 \cdot \frac{0,8}{0,9} = 70,5 \text{ МВт}.$$

Розрахуємо необхідну кількість ЛЕП, що відходять від ВРУ 110 кВ згідно формули (2.1):

$$n = \frac{500}{70,5} = 7,09.$$

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

До установки необхідно прийняти найближче ціле більше число ліній – тобто вісім, враховуючи умови на виникнення «корони» та аварійного режиму роботи обладнання.

2.2.2 Розрахунок необхідної кількості ліній ЛЕП, що відходять від ВРУ 220 кВ

Приймаємо поперечний переріз кабелю - $q = 600 \text{ мм}^2$, тоді визначаємо економічну потужність лінії ЛЕП з довідника [12-14]:

$$P_{\text{екон}} = 236 \cdot \frac{0,8}{0,9} = 209,8 \text{ МВт.}$$

Прийmemo до уваги, що з ВРУ №2 в загальну мережу транспортується вся потужність, що виробляють за допомогою генераторів крім частини, що витрачається на перетікання до ВРУ №1:

$$P_{\text{max}} = (S_{\Sigma\Gamma_ВРУ2} - |S_{\text{перmin}}|) \cdot \cos \varphi_{\Gamma}; \quad (2.2)$$

$$P_{\text{max}} = (600 - 229,7) \cdot 0,85 = 314,76 \text{ МВт.}$$

Тоді розрахуємо необхідну кількість ліній ЛЕП, згідно формули (2.1):

$$n = \frac{314,76}{209,8} = 1,5.$$

До установки необхідно прийняти найближче ціле більше число ліній – дві лінії ЛЕП, враховуючи умови на виникнення «корони» та аварійного режиму роботи обладнання [12-14].

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.2 Визначення параметрів елементів схеми заміщення та розрахунок виникаючих струмів КЗ

Розрахунок виконується в відносних одиницях (в.о.), частина даних обирається довільно наприклад, $S_{баз}$, приймається на рівні $U_{баз}$ тієї ступені, на якій виконується розрахунок виникнення КЗ, тому приймаємо $S_{баз} = 1000$ МВА, частина наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Енергетичні параметри обладнання для виконання проектування ТЕС

Кількість встановлених генераторів	Потужність генераторів, МВт	Енергетичні параметри ВРУ СН			Енергетичні параметри ВРУ ВН	
		$U_{ном}$, кВ	$P_{нагр}$, МВт	$S_{кз}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	$S_{кз}$, МВА
5	200	110	500	2100	220	4500

Перейдемо безпосередньо до визначення параметрів елементів схеми заміщення – величина ЕРС системи приймається на рівні 1,1 згідно довідникової літератури [15-19]. Спочатку накреслимо повну схему заміщення для ТЕС з вказанням можливих точок виникнення КЗ – рисунок 2.1.

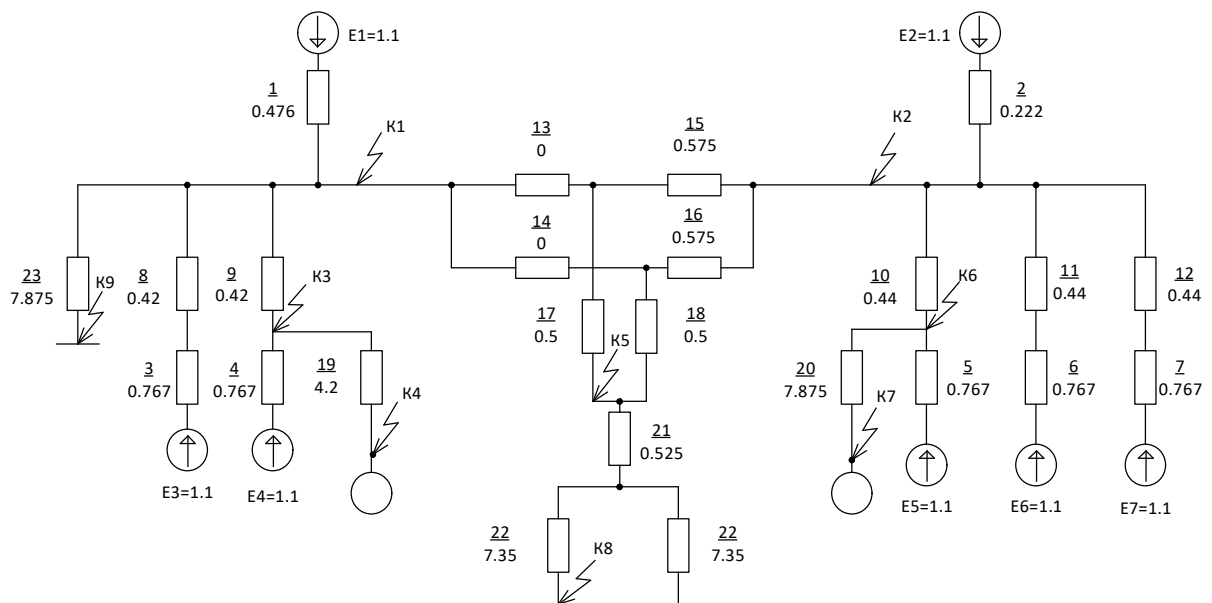


Рисунок 2.1 – Повна схема заміщення для проекту ТЭС

Виконаємо необхідні аналітичні розрахунки [15-19].

$$X_1 = \frac{S_{\text{баз}}}{S''_{K3.GS1}}; \quad (2.3)$$

$$X_1 = \frac{1000}{2100} = 0,476 \text{ в.о.}$$

Вкажемо необхідну величина ЕРС:

$$E_{GS1} = E_1 = 1,1 \text{ в.о.}$$

$$X_2 = \frac{S_{\text{баз}}}{S''_{K3.GS2}}; \quad (2.4)$$

$$X_2 = \frac{1000}{4500} = 0,222 \text{ в.о.}$$

Відповідно величина ЕРС відповідає величині попередньої ЕРС:

$$E_{GS2} = E_2 = 1,1 \text{ в.о.}$$

Виконаємо необхідні розрахунки для встановлених генераторів типу ТГВ-200-2УЗ [15-19]:

$$X_3 = \dots = X_7 = X_d'' \cdot \frac{S_{\text{баз}}}{S_{\text{ном}}}; \quad (2.5)$$

$$X_3 = 0,1805 \cdot \frac{1000}{235,3} = 0,767 \text{ в.о.}$$

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

Знайдемо величину ЕРС для генераторів типу ТГВ-200-2УЗ:

$$E_3 = \dots = E_7 = \sqrt{(X_{d_r}'' \cdot \cos(\varphi_r))^2 + (1 + X_{d_1}'' \cdot \sin(\varphi_r))^2}; \quad (2.6)$$

$$E_3 = \dots = E_7 = \sqrt{(0,19 \cdot 0,85)^2 + (1 + 0,19 \cdot 0,53)^2} = 1,1 \text{ в.о.}$$

Виконаємо необхідні розрахунки для встановлених блочних трансформаторів ВРП №1 типу ТДЦ-250000/110:

$$X_8 = X_9 = \frac{U_k, \%}{100} \cdot \frac{S_{баз.}}{S_{ном.}}; \quad (2.7)$$

$$X_8 = X_9 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{250} = 0,42 \text{ в.о.}$$

Виконаємо необхідні розрахунки для встановлених блочних трансформаторів ВРП №2 типу ТДЦ-250000/220:

$$X_{10} = \dots = X_{12} = \frac{U_k, \%}{100} \cdot \frac{S_{баз.}}{S_{ном.}}; \quad (2.8)$$

$$X_{10} = \dots = X_{12} = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{250} = 0,44 \text{ в.о.}$$

Виконаємо необхідні розрахунки для встановлених АТ зв'язку типу АТДЦТН-250000/220/110 враховуючи активні опори обмоток [15-19]:

$$X_{17} = X_{18} = X_{НАТ} = \frac{0,5 \cdot (U_{КВН, \%} + U_{КСН, \%} - U_{КВС, \%})}{100} \cdot \frac{S_{баз.}}{S_{ном.}}; \quad (2.9)$$

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

$$X_{17} = X_{18} = X_{НАТ} = \frac{0,5 \cdot (32 + 20 - 11)}{100} \cdot \frac{1000}{250} = 0,5 \text{ в.о.};$$

$$X_{13} = X_{14} = X_{САТ} = 0;$$

Виконаємо розрахунки відповідно до формули (2.9):

$$X_{15} = X_{16} = X_{ВАТ} = \frac{0,5 \cdot (32 + 11 - 20)}{100} \cdot \frac{1000}{250} = 0,575 \text{ в.о.}$$

Виконаємо необхідні розрахунки для ТВП типу ТРДНС-25000/35:

$$X_{19} = \frac{U_k, \%}{100} \cdot \frac{S_{баз.}}{S_{ном}}; \quad (2.10)$$

$$X_{19} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,2 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо опір від ТВП типу ТРДНС-25000/35 до точки К7 згідно наступної формули [15-19]:

$$X_{20} = (0,125 + 1,75) \cdot \frac{U_k, \%}{100} \cdot \frac{S_{баз.}}{S_{ном}}; \quad (2.11)$$

$$X_{20} = (0,125 + 1,75) \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,875 \text{ в.о.}$$

Виконаємо необхідні розрахунки для резервного ТВП типу ТРДНС-25000/110 із розщепленою обмоткою, а саме визначимо величину опору між

шинами 110 кВ та точкою виникнення КЗ К5 на одній з обмоток НН (див. рис. 2.1) [15-19]:

$$X_{23} = (0,125 + 1,75) \cdot \frac{U_k, \%}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{ном}}; \quad (2.12)$$

$$X_{23} = (1,75 + 0,125) \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,875 \text{ в.о.}$$

2.2.1 Розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точки К1

Розроблену та запропоновану еквівалентну схему заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К1 представлено на рисунку 2.2.

Виконаємо необхідне спрощення еквівалентної схеми заміщення. Гілки з джерелами від E5 до E7 володіють однаковим опором та знаходяться під однаковим навантаженням, тому вони будуть розглядатись як з'єднані паралельно згідно відомих правил [15-19]:

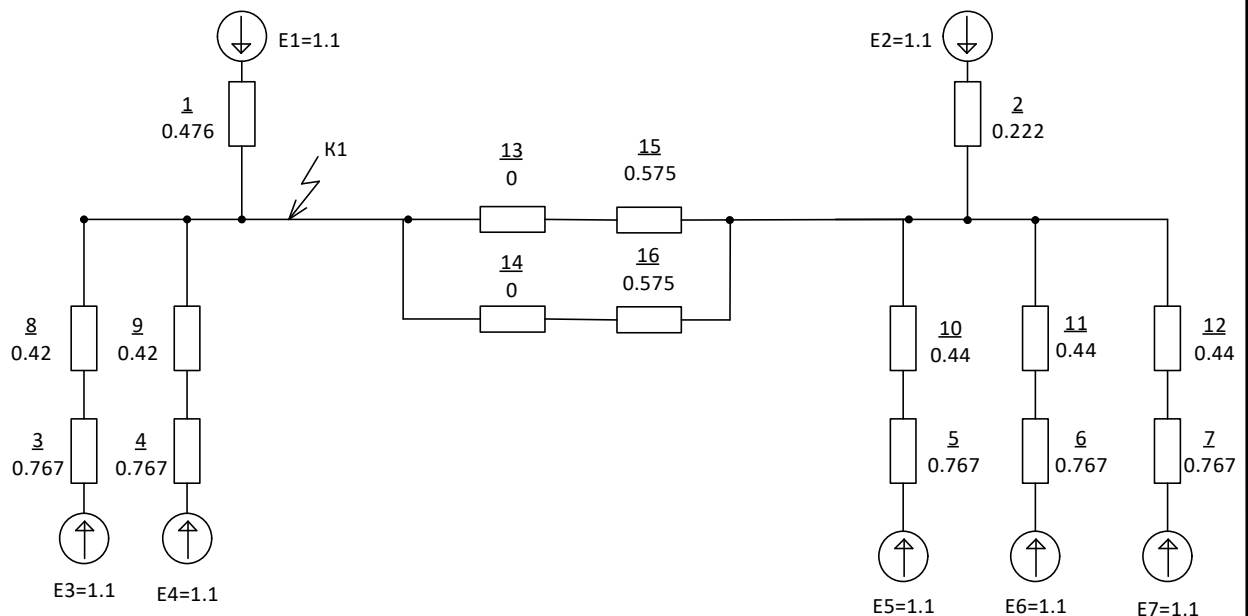


Рисунок 2.2 – Еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К1

$$X_{24} = \frac{X_{10} + X_5}{3}; \quad (2.13)$$

$$X_{24} = \frac{0,44 + 0,767}{3} = 0,402 \text{ в.о.}$$

Аналогічно виконаємо і для джерел Е3 та Е4:

$$X_{25} = \frac{0,767 + 0,44}{2} = 0,594 \text{ в.о.}$$

Із еквівалентної схеми (див. рис. 2.2) очевидно, що опори X_{15} та X_{16} підключено паралельно, тоді:

$$X_{26} = \frac{X_{15}}{2}; \quad (2.14)$$

$$X_{26} = \frac{0,575}{2} = 0,288 \text{ в.о.}$$

Отже еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К1 матиме наступний вигляд – рисунок 2.3, а.

З рисунку 2.3, а видно, що опори X_2 та X_{24} підключені паралельно (та мають однакові значення рівня напруги) та підключені послідовно відносно до опору X_{26} :

$$X_{27} = \frac{X_2 \cdot X_{24}}{X_2 + X_{24}} + X_{26}; \quad (2.15)$$

$$X_{27} = \frac{0,222 \cdot 0,402}{0,222 + 0,402} + 0,288 = 0,43 \text{ в.о.}$$

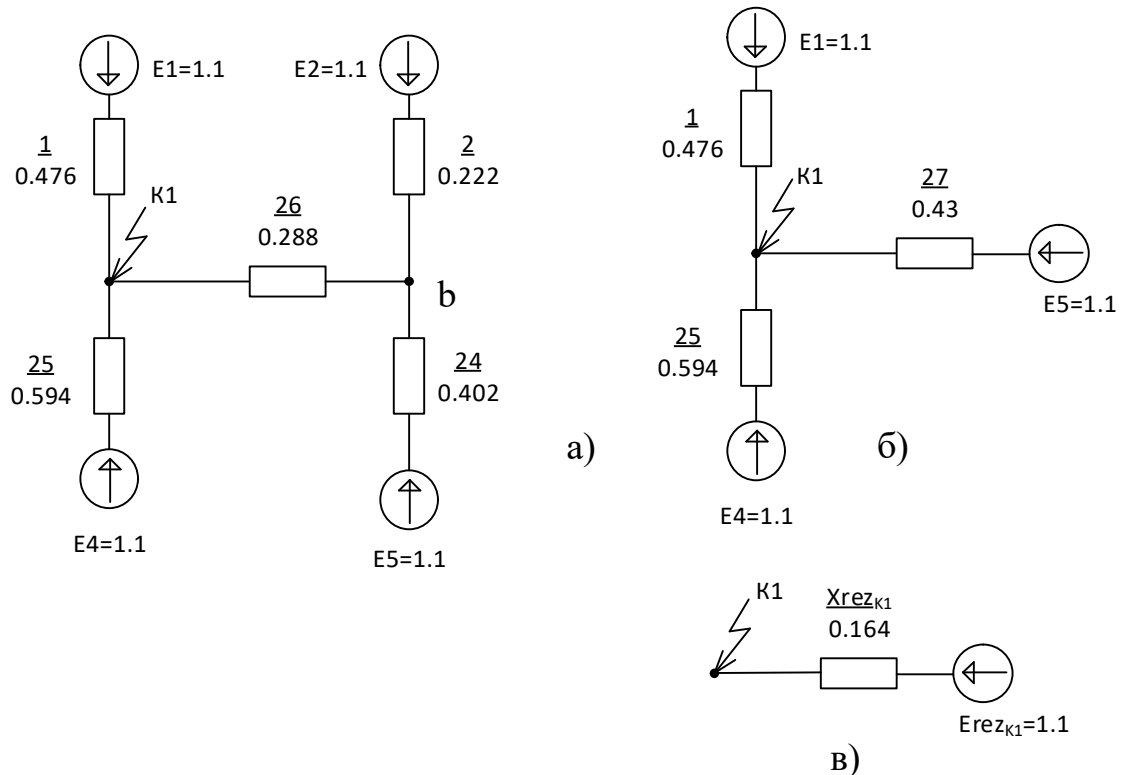


Рисунок 2.3 - Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К1: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

За допомогою цього перетворення ми змінюємо еквівалентну схему заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К1 до вигляду представленого на рисунку 2.3, б. З рисунку 2.3, б очевидно, що опори X_1 та X_{25} підключені паралельно та володіють однаковим значення навантаження на них, згідно закону [15-19]:

$$X_{28} = \frac{0,476 \cdot 0,594}{0,476 + 0,594} = 0,264 \text{ в.о.}$$

Знайдемо результуючу ЕРС та результуючий опір системи:

$$E_{rezK1} = 1,1;$$

$$X_{rezK1} = \frac{X_{28} \cdot X_{27}}{X_{28} + X_{27}}; \quad (2.16)$$

$$X_{rezK1} = \frac{0,264 \cdot 0,43}{0,264 + 0,43} = 0,164 \text{ в.о.}$$

На рисунку 2.3, в наведено остаточний вигляд еквівалентної схеми заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К1, для якого і будемо визначати сили струмів КЗ, згідно наступних формул:

- базисна сила струму для точки К1:

$$I_{баз} = \frac{S_{баз}}{\sqrt{3} \cdot U_{баз}}; \quad (2.17)$$

$$I_{б} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.}$$

- сила струму КЗ в точці К1 виражена в відносних одиницях:

$$I_{rezK1} = \frac{E_{rezK1}}{X_{rezK1}}; \quad (2.18)$$

$$I_{rezK1} = \frac{1,1}{0,164} = 6,717 \text{ в.о.}$$

- знайдемо сила струму КЗ в точці К1 виражена в амперах:

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

$$I_{K1} = \frac{E_{rezK1}}{X_{rezK1}} \cdot I_{баз}; \quad (2.19)$$

$$I_{K1} = \frac{1,1}{0,164} \cdot 5,02 = 33,7 \text{ кА}$$

Визначимо сили струмів, що течуть від підключених джерел.

Сила струму, що тече від системи №1:

$$I_{1K1} = \frac{E_1}{X_1}; \quad (2.20)$$

$$I_{1K1} = \frac{1,1}{0,476} = 2,31 \text{ в.о.}$$

Сила струму, що тече від підключених електродвигунів G1 та G2 (див. рис. 2.2):

$$I_{25K1} = \frac{E_4}{X_{25}}; \quad (2.21)$$

$$I_{25K1} = \frac{1,1}{0,594} = 1,853 \text{ в.о.}$$

Визначимо сили струму, що тече через опір X_{26} (див. рис. 2.2):

$$I_{26K1} = \frac{E_5}{X_{27}}; \quad (2.22)$$

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

$$I_{26K1} = \frac{1,1}{0,43} = 2,554 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину потенціалу в точці b (див. рис. 2.3) згідно наступної формули [15-19]:

$$Ub_{K1} = I_{26K1} \cdot X_{26}; \quad (2.23)$$

$$Ub_{K1} = 2,554 \cdot 0,2875 = 0,734 \text{ в.о.}$$

Аналогічно визначимо силу струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K1} = \frac{E_2 - Ub_{K1}}{X_2}; \quad (2.24)$$

$$I_{2K1} = \frac{1,1 - 0,734}{0,222} = 1,645 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від підключених електродвигунів G3-G5 (ВРУ№2):

$$I_{24K1} = \frac{E_5 - Ub_{K1}}{X_{24}}; \quad (2.25)$$

$$I_{24K1} = \frac{1,1 - 0,734}{0,402} = 0,91 \text{ в.о.}$$

Отже, визначимо початкові значення періодичних складових сили струму від джерел згідно наступних формул [15-19]:

$$I_{C1_K1} = I_{1K1} \cdot I_{баз}; \quad (2.26)$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{C1_K1} = 2,31 \cdot 5,02 = 11,6 \text{ кА};$$

$$I_{C2_K1} = 1,645 \cdot 5,02 = 8,26 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_K1} = 1,853 \cdot 5,02 = 9,3 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_K1} = 0,91 \cdot 5,02 = 4,562 \text{ кА}.$$

Прийmemo в якості припущення те, що періодичні складові сил струмів для даної точки КЗ (тобто для точки К1) будуть рівні своїм початковим значенням:

$$I_{n,\tau_C1,K1} = I_{C1_K1} = 11,6 \text{ кА};$$

$$I_{n,\tau_C2,K1} = I_{C2_K1} = 8,26 \text{ кА};$$

$$I_{n,\tau_G1-G2,K1} = I_{G1-G2_K1} = 9,3 \text{ кА};$$

$$I_{n,\tau_G3-G5,K1} = 4,562 \text{ кА}.$$

2.2.2 Розрахунок еквівалентної схеми відносно точки К2

Еквівалентна схема заміщення для виконання розрахунку виникнення КЗ в точці К2 абсолютно ідентична схемі представлений на рисунку 2.3.

Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення представлено на рисунку 2.4.

Опори X_1 та X_{25} під'єднані паралельно на схемі (рис. 2.4) (та мають однакові значення навантаження) та підключені послідовно відносно до опору X_{26} :

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

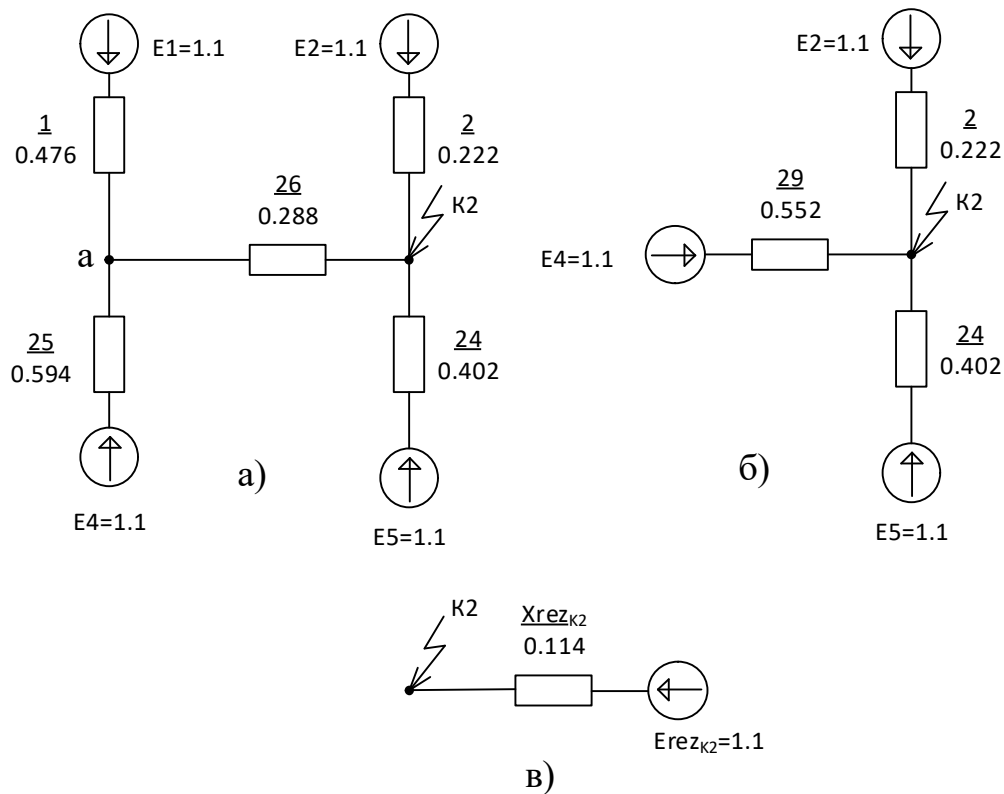


Рисунок 2.4 - Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення відносно точки K2: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

$$X_{29} = \frac{X_1 \cdot X_{25}}{X_1 + X_{25}} + X_{26}; \quad (2.27)$$

$$X_{29} = \frac{0,476 \cdot 0,594}{0,476 + 0,594} + 0,288 = 0,552 \text{ в.о.}$$

Після виконаного спрощення отримуємо еквівалентну схему представлену на рисунку 2.4, б.

Розрахуємо еквівалентний опір для еквівалентної схеми [15-19]:

$$X_{30} = \frac{X_2 \cdot X_{29}}{X_2 + X_{29}}; \quad (2.28)$$

$$X_{30} = \frac{0,222 \cdot 0,552}{0,222 + 0,552} = 0,158 \text{ в.о.}$$

Визначимо результуючий опір з наступного виразу:

$$X_{rezK2} = \frac{X_{24} \cdot X_{30}}{X_{24} + X_{30}}; \quad (2.29)$$

$$X_{rezK2} = \frac{0,402 \cdot 0,158}{0,402 + 0,158} = 0,114 \text{ в.о.}$$

Визначимо результуючу ЕРС для еквівалентної схеми:

$$E_{rezK2} = 1,1.$$

Отримана після спрощень еквівалентна схема заміщення представлена на рисунку 2.4, в.

Визначимо базисну силу струму для ступеня напруги з точки К2 відповідно до формули (2.17):

$$I_{баз} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 2,51 \text{ кА};$$

Визначимо силу струму К3 в точці К2 виражену в відносних одиницях згідно формули (2.18):

$$I_{rezK2} = \frac{1,1}{0,114} = 9,678 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо силу струму К3 в точці К2 виражену в амперах (2.19):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K2} = \frac{1,1}{0,113} \cdot 2,51 = 24,293 \text{ кА.}$$

Визначимо сили струмів, що течуть від джерел аналогічно описаним в підрозділі 2.2.1.

Сила струму, що тече від системи №2 (див. рис. 2.4):

$$I_{2K2} = \frac{1,1}{0,222} = 4,95 \text{ в.о.}$$

Сила струму, що тече від двигунів G3-G5 (див. рис. 2.4):

$$I_{24K2} = \frac{1,1}{0,402} = 2,734 \text{ в.о.}$$

Сила струму, що тече через опір X_{26} (див. рис. 2.4):

$$I_{26K2} = \frac{1,1}{0,552} = 1,994 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці а (див. рис. 2.4, а):

$$U_{aK2} = 1,996 \cdot 0,288 = 0,573 \text{ в.о.}$$

Тоді визначимо силу струму, що тече від системи №1 (див. рис. 2.4):

$$I_{1K2} = \frac{1,1 - 0,573}{0,476} = 1,106 \text{ в.о.}$$

Знайдемо силу струму, що тече від двигунів G1-G2 (див. рис. 2.4):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{25K2} = \frac{1,1 - 0,573}{0,594} = 0,888 \text{ в.о.}$$

Визначимо початкові значення періодичних складових сили струму, що течуть від джерел, аналогічно описаним в підрозділі 2.2.1:

$$I_{C1_K1} = 1,106 \cdot 2,51 = 2,78 \text{ кА}; ;$$

$$I_{C2_K2} = 4,95 \cdot 2,51 = 12,43 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_K2} = 0,888 \cdot 2,51 = 2,23 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_K2} = 2,734 \cdot 2,51 = 6,86 \text{ кА.}$$

Періодичні складові сил струмів КЗ для точки К2 приймемо рівними їх початковим значенням:

$$I_{n,\tau_C1,K2} = I_{C1_K2} = 2,78 \text{ кА};$$

$$I_{n,\tau_C2,K2} = I_{C2_K2} = 12,43 \text{ кА};$$

$$I_{n,\tau_G1-G4_K2} = I_{G1-G4_K2} = 2,23 \text{ кА};$$

$$I_{n,\tau_G5-G9_K2} = I_{G5-G9_K2} = 6,87 \text{ кА.}$$

2.2.3 Розрахунок еквівалентної схеми відносно точки КЗ

Еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникаючого КЗ в точці КЗ представлена на рисунку 2.5, а, при цьому частину еквівалентної схеми згорнуто відповідно пункту 2.2.2. Для цього виконаємо наступні розрахунки [15-19]:

$$X_{27} = \frac{X_2 \cdot X_{24}}{X_2 + X_{24}} + X_{26}; \quad (2.30)$$

$$X_{27} = \frac{0,222 \cdot 0,402}{0,222 + 0,402} + 0,288 = 0,43 \text{ в.о.}$$

$$X_{31} = X_3 + X_8; \quad (2.31)$$

$$X_{31} = 0,767 + 0,42 = 1,19 \text{ в.о.}$$

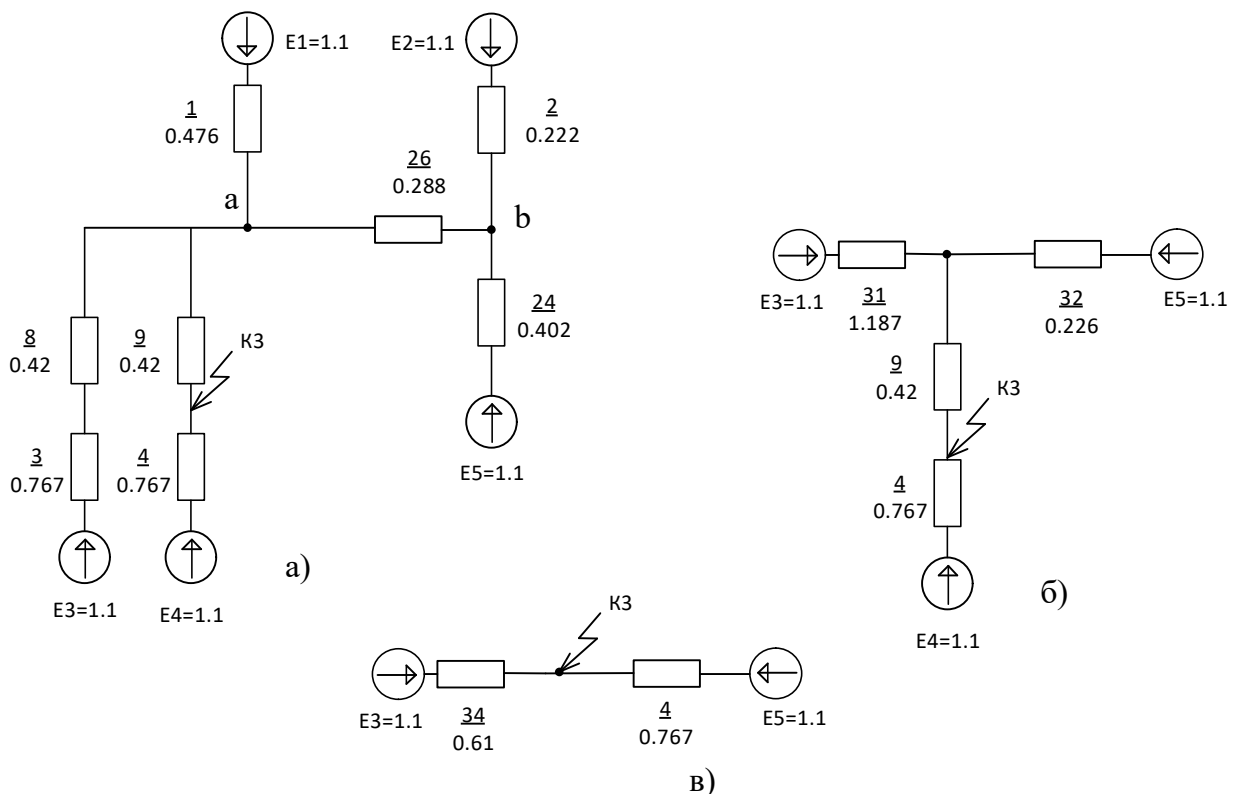


Рисунок 2.5 - Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення відносно точки КЗ: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Гілки з підключеними джерелами Е1, Е3 та Е5 знаходяться під однаковим навантаженням, тому їх потрібно розглядати як підключені паралельно відносно один одного (рис. 2.5, б):

$$X_{32} = \frac{X_1 \cdot X_{27}}{X_1 + X_{27}}; \quad (2.32)$$

$$X_{32} = \frac{0,476 \cdot 0,43}{0,476 + 0,43} = 0,226 \text{ в.о.}$$

$$X_{33} = \frac{X_{31} \cdot X_{32}}{X_{31} + X_{32}}; \quad (2.33)$$

$$X_{33} = \frac{1,187 \cdot 0,226}{1,187 + 0,226} = 0,19 \text{ в.о.}$$

Приймемо, що опори X_{33} та X_9 під'єднані послідовно:

$$X_{34} = X_{33} + X_9; \quad (2.24)$$

$$X_{34} = 0,19 + 0,42 = 0,61 \text{ в.о.}$$

Після виконаного спрощення отримуємо еквівалентну схему представлену на рисунку 2.5, в.

Визначимо базисну силу струму для ступеню напруги в точці К3 (2.17):

$$I_{\text{баз}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 15,75} = 36,66 \text{ кА.};$$

Визначимо початкове значення періодичної складової сили струму від генератора G2 виражену в відносних одиницях:

$$I_{4КЗ} = \frac{1,1}{0,767} = 1,434 \text{ в.о.}$$

Визначимо початкове значення періодичної складової сили струму від генератора G2 виражену в амперах:

$$I_{4КЗ} = \frac{1,1}{0,767} \cdot 36,66 = 52,6 \text{ кА.}$$

Визначимо номінальну силу струму генератора:

$$I_{GHOM} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{баз} \cdot \cos \varphi_G}; \quad (2.25)$$

$$I_{GHOM} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 15,75 \cdot 0,85} = 8,625 \text{ кА.}$$

Знайдемо відношення початкового значення періодичної складової сили струму виникаючого КЗ від генератора G2 при КЗ, що виникло в точці КЗ, до номінальної сили струму генератора за наступною формулою:

$$\frac{I_{4КЗ}}{I_{GHOM}} = \frac{52,6}{8,625} = 6,094 \text{ в.о.}$$

Згідно даного відношення та часу $\tau = 0,07$ с визначаємо за допомогою типових кривих із довідкової літератури [12] та наступного відношення:

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

$$\frac{I_{n,t,\Gamma}}{I_{n,0,\Gamma}} = 0,8.$$

Звідки визначимо силу струм

$$I_{n,t,\Gamma} = I_{n,0,\Gamma} \cdot 0,8 = 52,28 \cdot 0,8 = 42,05 \text{ кА.}$$

Визначимо силу струму КЗ в точці КЗ виражену в амперах:

$$I_{\text{рез}КЗ} = \left(\frac{E_5}{X_4} + \frac{E_3}{X_{34}} \right) \cdot I_{\text{баз}} = \left(\frac{1,1}{0,767} + \frac{1,1}{0,61} \right) \cdot 36,66 = 118,7 \text{ кА.}$$

Розрахуємо силу струму, що тече через опір X_9 :

$$I_{9КЗ} = \frac{1,1}{0,61} = 1,803 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів точки а (див. рис. 2.5):

$$U_{a_{КЗ}} = 1,803 \cdot 0,42 = 0,757 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №1:

$$I_{1КЗ} = \frac{1,1 - 0,757}{0,476} = 0,719 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від двигуна G1 (див. рис. 2.5):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{31K3} = \frac{1,1 - 0,757}{1,187} = 0,289 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече через опір X_{27} (див. рис. 2.5):

$$I_{27K3} = \frac{1,1 - 0,757}{0,43} = 0,795 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо різницю потенціалів в точці b (див. рис. 2.5):

$$Ub_{K3} = 0,757 + 0,798 \cdot 0,2875 = 0,986 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K3} = \frac{1,1 - 0,986}{0,222} = 0,512 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G3-G5 (див. рис. 2.5):

$$I_{24K3} = \frac{1,1 - 0,986}{0,402} = 0,283 \text{ в.о.}$$

Визначимо початкові значення періодичних складових сил струмів, що течуть від джерел аналогічно описаним вище [15-19]:

$$I_{C1_K3} = I_{1K3} \cdot I_{\text{баз}} = 0,719 \cdot 36,66 = 26,371 \text{ кА};$$

$$I_{C2_K3} = 0,512 \cdot 36,66 = 18,785 \text{ кА};$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

$$I_{G1_K3} = 0,289 \cdot 36,66 = 10,58 \text{ кА};$$

$$I_{G2_K3} = 52,6 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_K3} = 0,283 \cdot 36,66 = 10,374 \text{ кА}.$$

2.2.4 Розрахунок еквівалентної схеми відносно точки К4

Еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К4 представлена на рисунку 2.6, при цьому частину еквівалентної схеми згорнуто відповідно підрозділу 2.2.3. Гілки з розташованими на них джерелами знаходяться під однаковим навантаженням та мають однаковий опір, тому їх можна розглядати як підключені паралельно [15-19]:

$$X_{35} = X_{34} // X_4 = 0,34 \text{ в.о.в.о.}$$

Визначимо величину результуючого опору:

$$X_{rezK4} = X_{19} + X_{35} = 4,2 + 0,34 = 4,54 \text{ в.о.}$$

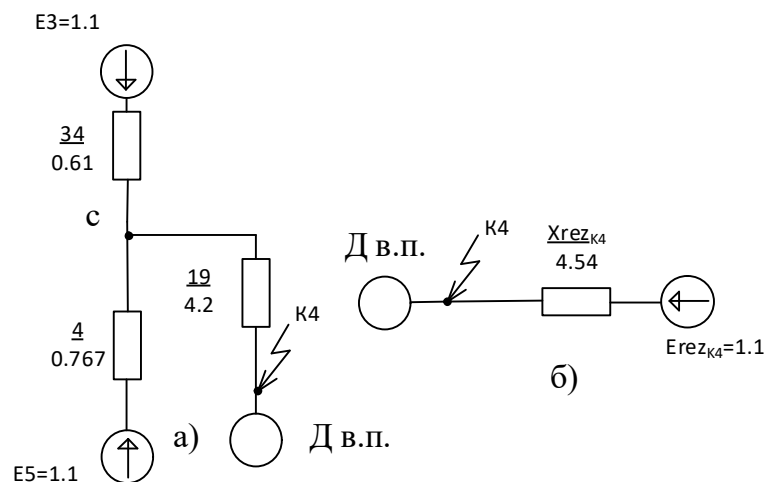


Рисунок 2.6 - Етапи спрощення еквівалентної схеми заміщення відносно для розрахунку виникнення КЗ точки К4: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

В даній точці КЗ джерелом сили струму є також підключені до секції ВП електродвигуни. Згідно з довідковою літературою [12], початкове значення періодичної складової сили струму, що тече від електродвигунів визначається за формулою:

$$I_{n,0,ED_BPU1} = I_{II*} \frac{0,7 \cdot S_{ВП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi_D \cdot \eta}; \quad (2.26)$$

де $S_{ВП}$ - номінальна потужність ТВП; $U_{НОМ}$ - номінальна міжфазна напруга електродвигунів; $\cos \varphi_{ED} = 0,87$ - коефіцієнт потужності електродвигуна; $\eta = 0,94$ - ККД електродвигуна; I_{II*} - кратність пускової сили струму електродвигуна.

$$I_{n,0,ED_BPU1} = 5,6 \cdot \frac{0,7 \cdot 25}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,87 \cdot 0,94} = 10,98 \text{ кА.}$$

Визначимо силу струму, що тече від іншої частини системи:

$$I_{36K4} = \frac{1,1}{4,54} = 0,242 \text{ в.о.}$$

Визначимо базисну силу струму для ступеня напруги з точки К4 (див. рис. 2.6):

$$I_{баз} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА.};$$

Визначимо силу струму КЗ в точці К4 виражену в амперах:

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

$$I_{K4} = I_{36K4} \cdot I_{\text{баз}} + I_{n,0,ED_BPV1} = 0,242 \cdot 91,64 + 10,982 = 33,2 \text{ кА.}$$

Розрахуємо сили струмів, що течуть від джерел (див. рис. 2.6).

Визначимо різницю потенціалів в точці с:

$$U_{c_{K4}} = I_{36K4} \cdot X_{19} = 0,242 \cdot 4,2 = 1,02 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигуна G2:

$$I_{4K4} = \frac{1,1 - 1,02}{0,767} = 0,107 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече через опір X_9 (див. рис. 2.6):

$$I_{9K4} = \frac{1,1 - 1,02}{0,61} = 0,135 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці а (див. рис. 2.6):

$$U_{a_{K4}} = 1,055 + 0,135 \cdot 0,42 = 1,074 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №1:

$$I_{1K4} = \frac{1,1 - 1,074}{0,476} = 0,054 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигуна G1:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{31K4} = \frac{1,1 - 1,086}{1,187} = 0,022 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече через опір X_{27} (див. рис. 2.6):

$$I_{27K4} = \frac{1,1 - 1,074}{0,43} = 0,06 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці b (див. рис. 2.6):

$$Ub_{K4} = 1,074 + 0,06 \cdot 0,288 = 1,09 \text{ в.о.}$$

Визначимо сили струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K4} = \frac{1,1 - 1,09}{0,222} = 0,038 \text{ в.о.}$$

Визначимо сили струмів, що течуть від електродвигунів G3-G5:

$$I_{24K4} = \frac{1,1 - 1,09}{0,402} = 0,021 \text{ в.о.}$$

Визначимо початкові значення періодичних складових сили струмів, що течуть від джерел аналогічно описаним вище [15-19]:

$$I_{C1_K4} = I_{1K4} \cdot I_{баз} = 0,054 \cdot 91,64 = 4,934 \text{ кА};;$$

$$I_{C2_K4} = 0,038 \cdot 91,64 = 3,515 \text{ кА};$$

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

$$I_{G1_K3} = 0,022 \cdot 91,64 = 1,98 \text{ кА};$$

$$I_{G2_K4} = 0,107 \cdot 91,64 = 9,836 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_K4} = 0,021 \cdot 91,64 = 1,941 \text{ кА}.$$

2.2.5 Розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точки К5

Еквівалентну схему заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К5 представлено на рисунку 2.7.

Величини опорів X_{25} , X_{24} , X_{27} , було аналітично пораховано в підрозділах 2.2.2 та 2.2.3. Визначимо наступні величини опорів в відносних одиницях:

$$X_{45} = \frac{X_{17} \cdot X_{18}}{X_{17} + X_{18}} = \frac{0,5 \cdot 0,5}{0,5 + 0,5} = 0,25 \text{ в.о.}$$

$$X_{46} = \frac{X_1 \cdot X_{25}}{X_1 + X_{25}} = \frac{0,476 \cdot 0,594}{0,476 + 0,594} = 0,264 \text{ в.о.}$$

Знайдемо величину результуючого опору:

$$X_{rez K5} = \frac{X_{46} \cdot X_{27}}{X_{46} + X_{27}} + X_{45} = \frac{0,264 \cdot 0,43}{0,264 + 0,43} + 0,25 = 0,414 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину результуючої ЕРС за наступним виразом:

$$E_{rez K5} = \frac{E_{12} \cdot X_{46} + E_{18} \cdot X_{36}}{X_{46} + X_{36}} = 1,1 \text{ в.о.}$$

Остаточна еквівалентна схема заміщення представлена на рисунку 2.7, в.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K5} = \frac{1,1}{0,414} \cdot 15,6 = 41,5 \text{ кА.}$$

Визначимо сили струмів, що течуть від джерел (див. рис. 2.7).

Різниця потенціалів в точці а згідно наступного виразу:

$$Ua_{K5} = I_{rezK5} \cdot X_{45} = 2,659 \cdot 0,25 = 0,665 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №1:

$$I_{1K5} = \frac{1,1 - 0,665}{0,476} = 0,914 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G1-G2:

$$I_{25K5} = \frac{1,113 - 0,665}{0,594} = 0,733 \text{ в.о.}$$

Знайдемо силу струму, що тече через опір X_{26} згідно наступного виразу:

$$I_{26K5} = \frac{E_5 - Ua_{K5}}{X_{27}} = \frac{1,101 - 0,665}{0,43} = 1,011 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці b виражену в в.о.:

$$Ub_{K5} = 0,665 + 1,011 \cdot 0,288 = 0,955$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №2 (див. рис. 2.7):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		44

$$I_{2K5} = \frac{1,1 - 0,955}{0,222} = 0,651 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G3-G5:

$$I_{24K5} = \frac{1,1 - 0,955}{0,402} = 0,36 \text{ в.о.}$$

Звідки, знайдемо початкові значення періодичних складових сили струму, що тече від джерел [15-19]:

$$I_{C1_K5} = I_{1K5} \cdot I_{6a3} = 0,914 \cdot 15,6 = 14,27 \text{ кА};;$$

$$I_{C2_K5} = 0,651 \cdot 15,6 = 10,162 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_K5} = 0,733 \cdot 15,6 = 11,45 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_K5} = 0,36 \cdot 15,6 = 5,612 \text{ кА.}$$

2.2.7 Розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точки К6

Еквівалентну схему заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К6 наведено на рисунку 2.8, а. Величину опору X_{25} розраховано в підрозділі 2.2.2.

Гілки з джерелами Е6 та Е7 володіють однаковим опором та знаходяться від однаковим навантаженням, тому розрахунок виконаємо за наступною формулою:

$$X_{38} = \frac{X_6 + X_{11}}{2} = \frac{0,44 + 0,767}{2} = 0,604 \text{ в.о.}$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

Гілки із розташованими джерелами E1 та E4 знаходяться від однаковим навантаженням (див. рис. 2.8):

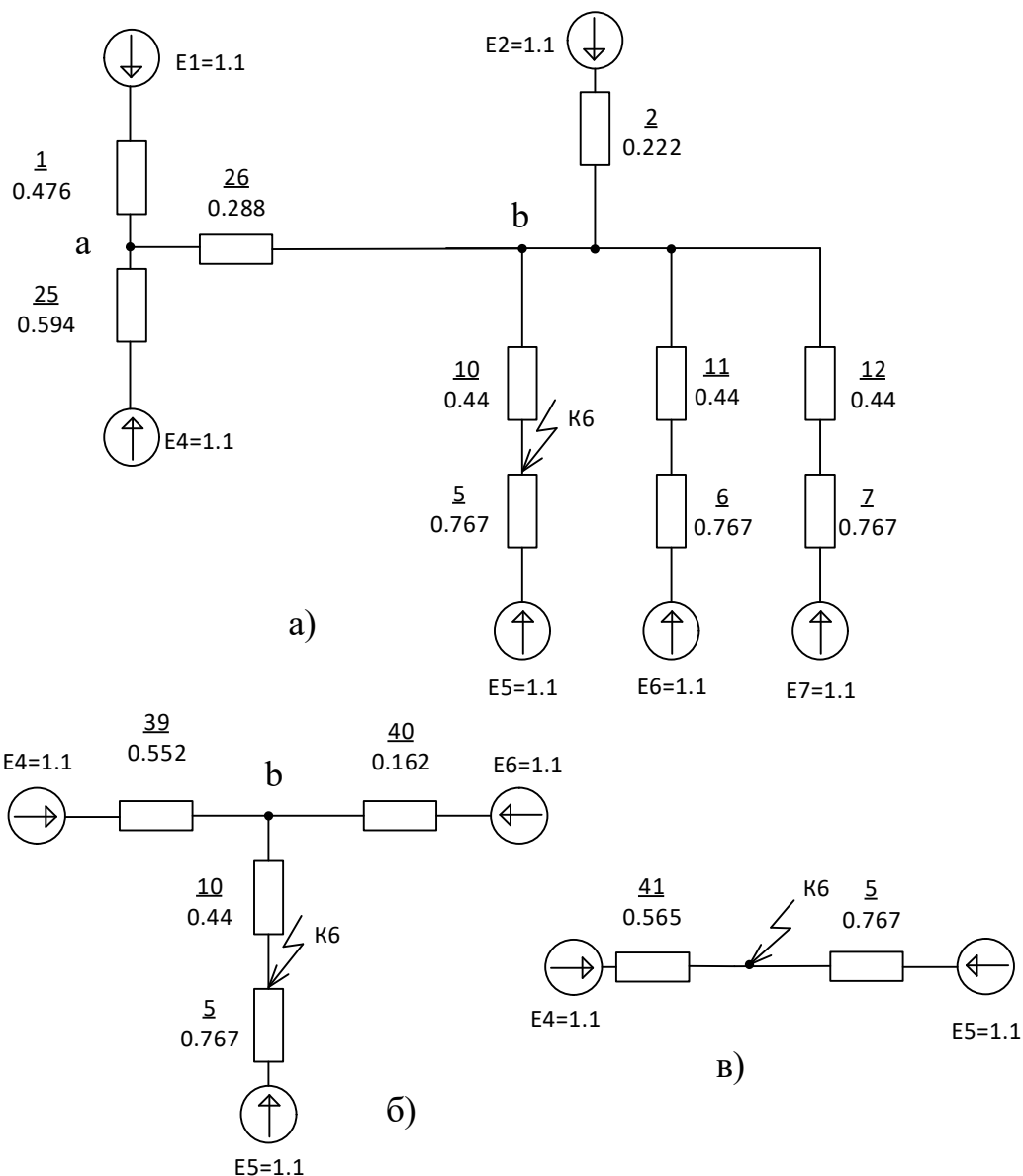


Рисунок 2.8 - Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення для розрахунку виникнення КЗ відносно точки К6: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

$$X_{39} = \frac{X_1 \cdot X_{25}}{X_1 + X_{25}} + X_{26} = \frac{0,476 \cdot 0,594}{0,476 + 0,594} + 0,288 = 0,552 \text{ в.о.};$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

$$X_{40} = \frac{X_2 \cdot X_{38}}{X_2 + X_{47}} = \frac{0,222 \cdot 0,604}{0,222 + 0,604} = 0,162 \text{ в.о.}$$

Виконаємо перший етап перетворення еквівалентної схеми заміщення представлений на рисунку 2.8, б.

Гілки з розташованими на них опорами X_{39} та X_{40} знаходяться від однаковим навантаженням, тому можна вважати їх підключеними паралельно:

$$X_{41} = \frac{X_{39} \cdot X_{40}}{X_{39} + X_{40}} + X_{10} = \frac{0,552 \cdot 0,162}{0,552 + 0,162} + 0,44 = 0,565 \text{ в.о.}$$

Остаточна еквівалентна схема заміщення представлена на рисунку 2.8, в.

Визначимо силу базисного струму для ступеня напруги з точки К6:

$$I_{\text{баз}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 15,75} = 36,66 \text{ кА.}$$

Визначимо початкове значення періодичної складової сили струму, що тече від генератора G3 виражену в в.о.:

$$I_{5K6} = \frac{1,1}{0,767} = 1,43.$$

Розрахуємо початкове значення періодичної складової сили струму, що тече від генератора G3 виражену в амперах:

$$I_{5K6} = \frac{1,1}{0,767} \cdot 36,66 = 52,56 \text{ кА.}$$

Визначимо силу струму, що тече від іншої частини системи:

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{41K6} = \frac{1,1}{0,565} = 1,945 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму КЗ в точці К6 виражену в амперах (див. рис. 2.8):

$$I_{K6} = \left(\frac{E_4}{X_{41}} + \frac{E_5}{X_5} \right) \cdot I_{\text{баз}} = \left(\frac{1,1}{0,565} + \frac{1,1}{0,767} \right) \cdot 36,66 = 123,95 \text{ кА.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці b (див. рис. 2.8):

$$U_{b_{K6}} = 1,947 \cdot 0,44 = 0,857 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G4-G5:

$$I_{38K3} = \frac{1,1 - 0,857}{0,604} = 0,404 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K6} = \frac{1,1 - 0,857}{0,222} = 1,098 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече через опір X_{26} (див. рис. 2.8):

$$I_{26K6} = \frac{1,1 - 0,857}{0,552} = 0,44 \text{ в.о.}$$

Знайдемо різницю потенціалів в точці a (див. рис. 2.8):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$U_{a_{K6}} = 0,857 + 0,44 \cdot 0,2875 = 0,984 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №1 згідно наступного виразу:

$$I_{1K6} = \frac{1,1 - 0,984}{0,476} = 0,245 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G1-G2:

$$I_{25K6} = \frac{E_4 - U_{a_{K6}}}{X_{25}} = \frac{1,1 - 0,984}{0,5935} = 0,197 \text{ в.о.}$$

Звідки, знайдемо початкові значення періодичних складових сил струмів, що течуть від наступних джерел [15-19]:

$$I_{C1_{K6}} = I_{1K6} \cdot I_{\text{баз}} = 0,245 \cdot 36,66 = 8,98 \text{ кА};$$

$$I_{C2_{K6}} = 1,098 \cdot 36,66 = 40,264 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_{K6}} = 0,197 \cdot 36,66 = 7,22 \text{ кА};$$

$$I_{G4-G5_{K6}} = 0,404 \cdot 36,66 = 14,825 \text{ кА.}$$

2.2.8 Розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точки К7

Еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К7 представлена на рисунку 2.9, а, при цьому частину еквівалентної схеми згорнуто відповідно підрозділу 2.2.7. Гілки з розташованими на них джерелами Е2, Е6 та Е4 знаходяться від однаковим навантаженням.

Крім того, згідно із підрозділом 2.2.7 визначимо наступні опори:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$X_{41} = X_{39} // X_2 // X_{38} + X_{10} = 0,565 \text{ в.о.}$$

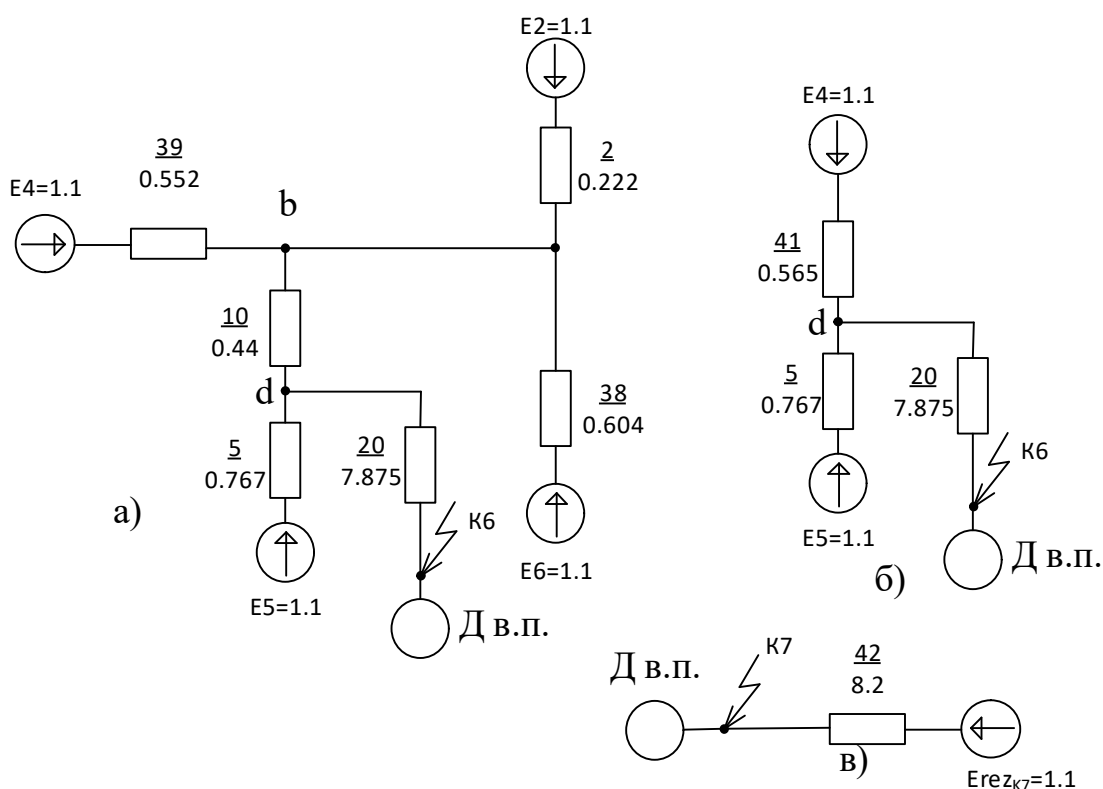


Рисунок 2.9 - Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення розрахунку виникнення КЗ відносно точки К7: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

$$X_{42} = \frac{X_{41} \cdot X_5}{X_{41} + X_5} + X_{20} = \frac{0,565 \cdot 0,767}{0,565 + 0,767} + 7,875 = 8,2 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо силу струму КЗ, що тече в правій частині еквівалентної схеми (рис. 2.9, в):

$$I_{42K7} = \frac{E_{rezK7}}{X_{42}} = \frac{1,1}{8,2} = 0,134 \text{ в.о.}$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

В даній точці К7 в якості джерела струму виступають електродвигуни, що підключені до секції ВП. Відповідно, визначимо початкове значення періодичної складової сили струму, що тече від даних електродвигунів:

$$I_{n,0,ED_BPV2} = I_{II*} \frac{0,5 \cdot S_{ВП}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi_D \cdot \eta};$$

$$I_{n,0,ED_BPV2} = 5,6 \cdot \frac{0,5 \cdot 25}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,87 \cdot 0,94} = 7,844 \text{ кА.}$$

Визначимо базисну силу струму для ступеня напруги з точки К7:

$$I_{баз} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА.};$$

Знайдемо силу струму КЗ в точці К7 виражену в амперах:

$$I_{К7} = 0,134 \cdot 91,64 + 7,844 = 20,137 \text{ кА.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці d (див. рис. 2.9):

$$Ud_{К7} = 0,134 \cdot 7,875 = 1,056 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигуна G3 (див. рис. 2.9):

$$I_{5К7} = \frac{1,1 - 1,055}{0,767} = 0,057 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече через опір X_{10} (див. рис. 2.9):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

$$I_{10K7} = \frac{1,1 - 1,055}{0,565} = 0,08 \text{ в.о.}$$

Знайдемо різницю потенціалів в точці b (див. рис. 2.9):

$$Ub_{K7} = 1,055 + 0,08 \cdot 0,44 = 1,09 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K7} = \frac{1,1 - 1,09}{0,222} = 0,044 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G4-G5 (див. рис. 2.9):

$$I_{38K7} = \frac{1,1 - 1,09}{0,604} = 0,016 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече через опір X_{26} (див. рис. 2.9):

$$I_{26K7} = \frac{1,1 - 1,09}{0,552} = 0,018 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці a (див. рис. 2.9):

$$Ua_{K7} = 1,09 + 0,018 \cdot 0,2875 = 1,095 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №1:

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

$$I_{1K7} = \frac{1,1 - 1,095}{0,476} = 0,0097 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G1-G2 (див. рис. 2.9):

$$I_{25K7} = \frac{1,1 - 1,095}{0,5935} = 0,008 \text{ в.о.}$$

Звідки, знайдемо початкові значення періодичних складових сил струмів, що течуть від підключених джерел [15-19]:

$$I_{C1_K7} = I_{1K7} \cdot I_{\text{баз}} = 0,0097 \cdot 91,64 = 0,893 \text{ кА};$$

$$I_{C2_K7} = 0,044 \cdot 91,64 = 4 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_K7} = 0,008 \cdot 91,64 = 0,716 \text{ кА};$$

$$I_{G4-G5_K7} = 0,016 \cdot 91,64 = 1,47 \text{ кА};$$

$$I_{G3_K7} = 0,057 \cdot 91,64 = 5,216 \text{ кА.}$$

2.2.9 Розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точки К8

Еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникнення КЗ в точці К8 представлена на рис. 2.10.

Згідно із підрозділом 2.2.2: $X_{27} = X_2 // X_{24} + X_{26} = 0,43 \text{ в.о.}$

Гілки із розташованими на них джерелами Е1 та Е4 знаходяться від однаковим навантаженням:

$$X_{43} = \frac{X_1 \cdot X_{25}}{X_1 + X_{25}} = \frac{0,476 \cdot 0,5935}{0,476 + 0,5935} = 0,264 \text{ в.о.}$$

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

Гілки з опорами X_{17} та X_{18} підключені паралельно:

$$X_{44} = \frac{X_{17}}{2} = 0,25 \text{ в.о.}$$

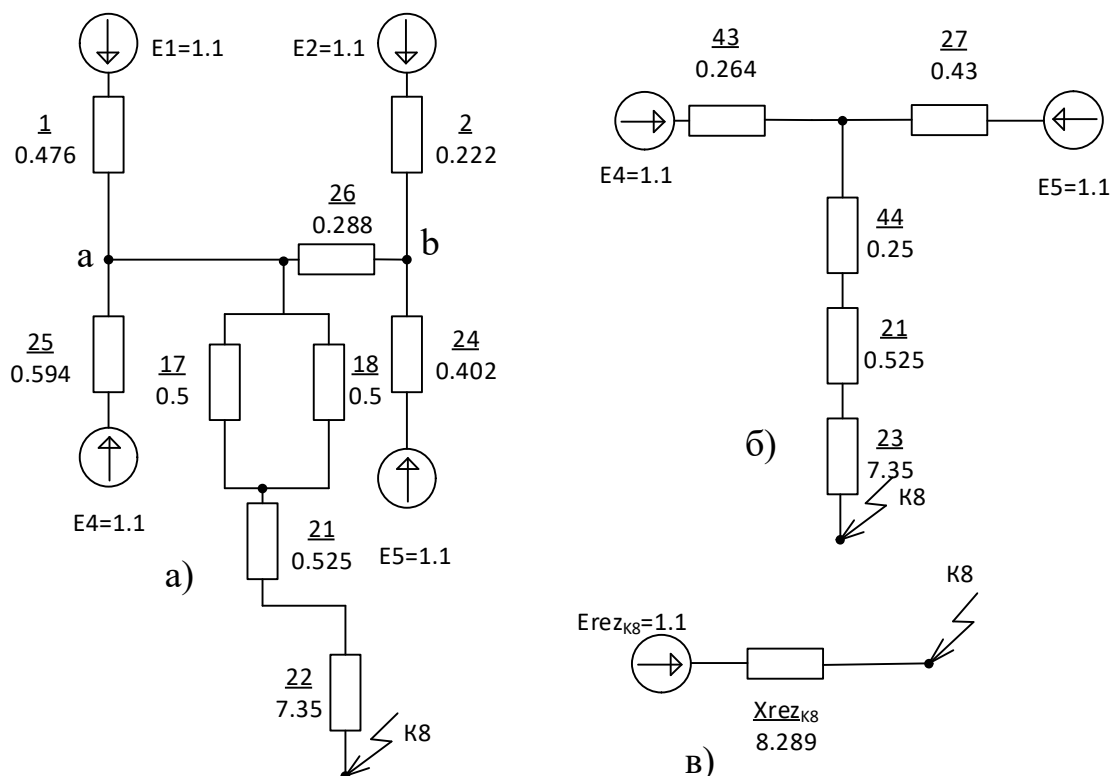


Рисунок 2.10 - Етапи перетворення еквівалентної схеми заміщення розрахунку виникнення КЗ відносно точки К8: а – перший етап; б – другий етап; в - третій етап

Другий етап перетворення еквівалентної схеми наведено на рисунку 2.10, б. Гілки із розташованими на них опорами X_{43} та X_{27} знаходяться під однаковим навантаженням, тому можна вважати їх підключення паралельним:

$$X_{rezK8} = \frac{0,43 \cdot 0,264}{0,43 + 0,264} + 0,25 + 0,525 + 7,35 = 8,289 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу базисного струму:

$$I_{\text{баз}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА.}$$

Визначимо величину результуючої сили струму КЗ виражену в в.о.:

$$I_{\text{резК8}} = \frac{E_{\text{резК8}}}{X_{\text{резК8}}} = \frac{1,1}{8,289} = 0,133 \text{ в.о.}$$

Знайдемо величину результуючої сили струму КЗ виражену в амперах:

$$I_{\text{резК8}} = \frac{1,1}{8,289} \cdot 91,64 = 12,16 \text{ кА.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці а (див. рис. 2.10):

$$U_{a_{\text{К8}}} = 0,133 \cdot (7,35 + 0,525 + 0,25) = 1,08 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №1:

$$I_{1\text{К8}} = \frac{1,1 - 1,08}{0,476} = 0,046 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G1-G2 (див. рис. 2.10):

$$I_{25\text{К8}} = \frac{1,1 - 1,08}{0,594} = 0,037 \text{ в.о.}$$

Визначити силу струму, що тече через опір X_{26} (див. рис. 2.10):

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

$$I_{26K8} = \frac{E_5 - U_{a_{K8}}}{X_{27}} = \frac{1,1 - 1,08}{0,43} = 0,05 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці b (див. рис. 2.10):

$$U_{b_{K8}} = U_{a_{K8}} + I_{26K8} \cdot X_{26} = 1,08 + 0,047 \cdot 0,2875 = 1,094 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K8} = \frac{1,1 - 1,094}{0,222} = 0,033 \text{ в.о.}$$

Визначимо силу струму, що тече від електродвигунів G3-G5 (див. рис. 2.10):

$$I_{24K8} = \frac{1,1 - 1,094}{0,402} = 0,018 \text{ в.о.}$$

Звідки, знайдемо початкові значення періодичних складових сили струмів, що течуть від підключених джерел:

$$I_{C1_{K8}} = I_{1K8} \cdot I_{баз} = 0,046 \cdot 91,64 = 4,18 \text{ кА};;$$

$$I_{C2_{K8}} = 0,033 \cdot 91,64 = 2,98 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_{K8}} = 0,037 \cdot 91,64 = 3,36 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_{K8}} = 0,018 \cdot 91,64 = 1,65 \text{ кА.}$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

2.2.10 Розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точки К9

Еквівалентна схема заміщення для розрахунку виникнення КЗ наведена на рисунку 2.11. Еквівалентна схема складається із результируючих ЕРС та опору, що були розраховані в підрозділі 2.2.2 для знаходження сили струму КЗ в точці К1, а також опору пуско-резервного ТВП №1.

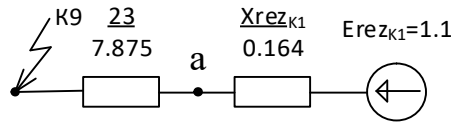


Рисунок 2.11 – Еквівалентна схема заміщення розрахунку виникнення КЗ відносно точки К9

Визначимо величину результируючого опору:

$$X_{rezK9} = X_{23} + X_{rezK1} = 7,875 + 0,215 = 8,039 \text{ в.о.}$$

Відповідно величина результируючої ЕРС буде рівною:

$$E_{rezK9} = E_{rezK1} = 1,1$$

Визначимо величину базисної сили струму для ступеню напруги в точці К9 (див. рис. 2.11):

$$I_{баз} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА;}$$

Визначимо величину сили струму КЗ в точці К9 виражену в відносних одиницях:

$$I_{rezK9} = \frac{1,1}{8,039} = 0,137 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину сили струму КЗ в точці К9 виражену в амперах:

$$I_{K9} = \frac{1,1}{8,039} \cdot 91,64 = 12,54 \text{ кА.}$$

Знайдемо різницю потенціалів в точці а (див. рис. 2.11):

$$Ua_{K9} = I_{rezK9} \cdot X_{23} = 0,136 \cdot 7,875 = 1,078 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину сили струму, що тече від системи №1:

$$I_{1K9} = \frac{1,1 - 1,078}{0,476} = 0,047 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину сили струму, що тече від електродвигунів G1-G2:

$$I_{25K9} = \frac{E_3 - Ua_{K9}}{X_{25}} = \frac{1,1 - 1,078}{0,594} = 0,038 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину сили струму, що тече через опір X_{26} :

$$I_{26K9} = \frac{1,1 - 1,078}{0,43} = 0,052 \text{ в.о.}$$

Визначимо різницю потенціалів в точці b:

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

$$U_{b_{K9}} = 1,078 + 0,052 \cdot 0,288 = 1,093 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину сили струму, що тече від системи №2:

$$I_{2K9} = \frac{1,1 - 1,093}{0,222} = 0,034 \text{ в.о.}$$

Визначимо величину сили струму, що тече від електродвигунів G3-G5:

$$I_{24K9} = \frac{1,1 - 1,093}{0,402} = 0,019 \text{ в.о.}$$

Звідки, знайдемо початкові значення періодичних складових сил струмів, що течуть від підключених джерел [15-19]:

$$I_{C1_{K9}} = I_{1K9} \cdot I_{баз} = 0,047 \cdot 91,64 = 4,312 \text{ кА};;$$

$$I_{C2_{K9}} = 0,034 \cdot 91,64 = 3,072 \text{ кА};$$

$$I_{G1-G2_{K9}} = 0,038 \cdot 91,64 = 3,46 \text{ кА};$$

$$I_{G3-G5_{K9}} = 0,019 \cdot 91,64 = 1,696 \text{ кА.}$$

Отримані аналітичні дані розрахунку величин сил струмів КЗ для кожної точки зведено в таблицю Б.1 (див. Додаток Б).

Висновки до розділу

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

Було проведено розрахунок необхідної кількості ліній електропередачі та підбір схеми ВРУ для проєкту ТЕС. Визначено параметри елементів еквівалентної схеми заміщення та виконано розрахунок виникаючих струмів КЗ, визначено початкові значення періодичних складових сил струмів, що течуть від джерел, проведено розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точок К1-К9.

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

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність

При виконанні монтажу вимикачів на РУ необхідно дотримуватись ідентичності встановлюваної апаратури, вимикачі можуть відрізнятися тільки величинами номінальних струмів тільки в тому випадку, якщо підключення до РУ мають суттєво різні величини робочих сил струмів.

При виконанні вибору типу вимикача відповідно до довготривалої допустимої сили струму необхідно також враховувати можливість зростання сили струму при виникненні аварійних режимів. Наприклад, для ЛЕП потужність, яка передається може зростати від $P_{ек}$ до $P_{гранич}$ у ланцюзі генератора сила струму тривало не може зростати більш ніж на п'ять відсотків, трансформатори ж, в свою чергу мають перевантажувальну здатність до 40%. Тобто можливість проходження підвищеної сили струму повинна бути заплановано при проєктуванні схеми.

Вибір вимикачів та роз'єднувачів зведено у таблиці представлені в додатку В. При виборі вимикачів та роз'єднувачів використовувалися дані сили струмів КЗ, що виникає (див. Додаток В).

3.1 Розрахунок та підбір вимикачів та роз'єднувачів для проєкту ТЕС

3.1.1 Розрахунок та підбір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ№1 на 110 кВ

Розрахунок ведемо будемо виконувати відповідно до сили струму КЗ в точці К1 - $I_{к1} = 33,7$ кА.

Знайдемо силу струму, що тече через вимикач та роз'єднувачі [20-22]

Визначимо найбільшу силу струму від потужного підключення (в даному випадку це генератор):

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

$$I_{розр} = \frac{S_{\max_G}}{\sqrt{3} \cdot U_{сер}}; \quad (3.1)$$

$$I_{розр} = \frac{235,3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 1235 \text{ А.}$$

Відповідно до отриманої сили струму приймаємо до монтажу повітряний вимикач типу ВВУ-110Б-40/2000У1 та роз'єднувач типу РНД-110/2000 У1 [20, 23].

Розрахуємо аперіодичні складові сили струму виникаючого КЗ, а також ударні сили струму [15-17].

Отже, аперіодична складова сили струму визначається за наступною формулою:

$$i_{a,\tau 1} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{Ta}}; \quad (3.2)$$

- ударна сила струму знаходиться за наступною формулою:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{Ta}}), \quad (3.3)$$

де $I_{n,0}$ - початкове значення величини періодичної складової сили струму;
 $\tau = t_{e.e} + 0,01$; $t_{e.e}$ - власний час на відключення вимикача; Ta - постійна часу затухання аперіодичної складової сили струму.

Знайдемо аперіодичні складові сил струмів, що течуть від джерел згідно до (3.1):

$$i_{a,\tau_C1,K1} = \sqrt{2} \cdot 11,6 \cdot e^{-\frac{0,07}{0,05}} = 4,044 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau_C2,K1} = \sqrt{2} \cdot 8,25 \cdot e^{\frac{0,07}{0,05}} = 2,881 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau_G1-G2,K1} = \sqrt{2} \cdot 9,3 \cdot e^{\frac{0,07}{0,26}} = 10,052 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau_G3-G5,K1} = \sqrt{2} \cdot 4,562 \cdot e^{\frac{0,07}{0,26}} = 4,929 \text{ кА}.$$

Знайдемо сумарну аперіодичну складову силу струму:

$$i_{a,\tau_Σ,K1} = 21,9 \text{ кА}.$$

Визначимо ударні сили струму відповідно до формули (3.2):

$$i_{y_C1,K1} = \sqrt{2} \cdot 11,6 \cdot (1 + e^{\frac{0,01}{0,05}}) = 29,829 \text{ кА};$$

$$i_{y_C2,K1} = \sqrt{2} \cdot 8,25 \cdot (1 + e^{\frac{0,01}{0,05}}) = 21,248 \text{ кА};$$

$$i_{y_G1-G2,K1} = \sqrt{2} \cdot 9,3 \cdot (1 + e^{\frac{0,01}{0,26}}) = 25,82 \text{ кА};$$

$$i_{y_G3-G5,K1} = \sqrt{2} \cdot 4,562 \cdot (1 + e^{\frac{0,01}{0,26}}) = 12,661 \text{ кА}.$$

Знайдемо сумарну ударну складову силу струму:

$$i_{y_Σ,K1} = 89,557 \text{ кА}.$$

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Виконаємо перевірку вибраних вимикачів для ВРУ№1 відповідно до здатності до відключення [15-19].

Перевірка по симетричній силі струму відключення:

$$I_{пт} \leq I_{відкл.ном};$$

$$I_{пт} = 33,7 < I_{відкл.ном} = 40 \text{ кА.}$$

Перевірка можливість відключення аперіодичної складового сили струму КЗ, що виникає:

$$i_{ат} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{відкл.ном}, \quad (3.4)$$

де β_n – номінальне значення відносного змісту аперіодичної складової в силі струму, що відключається, $\beta_n = 0,23$.

$$i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,23 \cdot 40 = 13,01 \text{ кА.}$$

Виконаємо перевірку [15-19]:

$$i_{ат} = 21,9 < i_{а.ном} = 13,01 \text{ кА.}$$

Виконаємо наступну перевірку вимикача, відносно до повної сили струму. Вимикач відповідає ТУ, якщо виконується наступна умова [20]:

$$\sqrt{2} \cdot I_{n,\tau} + i_{а,\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.ном} \cdot (1 + \beta); \quad (3.5)$$

$$69,56 < 69,57 \text{ кА.}$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Обраний тип вимикача задовольняє умові.

Електродинамічна стійкість вимикача типу ВВУ-110Б-40/2000У1 перевіряється по граничній наскрізній силі струму КЗ, що виникає у точці К1:

$$I_{n0} \leq I_{np.c}; \quad (3.6)$$

$$I_{n0} = 33,7 \leq I_{np.c} = 40 \text{ кА};$$

$$i_y = 89,557 \leq i_{np.c} = 100 \text{ кА}.$$

де $i_{np.c}$ – амплітудне (найбільший пік) значення граничної наскрізної сили струму КЗ (згідно до довідника [23]); i_y – ударна сила струму КЗ.

Отже, обраний вимикач типу ВВУ-110Б-40/2000У1 динамічно стійкий.

Виконаємо перевірку на термічну стійкість вимикача типу ВВУ-110Б-40/2000У1 відповідно до теплового імпульсу [20]:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (3.7)$$

де $B_k = I_{n0}^2 \cdot (t_{відкл_вк} + t_{P3A} + T_a)$ – величина теплового імпульсу, обумовлена з розрахунку; $t_{відкл_вк}$ – час відключення вимикача, сума повного часу відключення вимикача та часу на гасіння дуги, $t_{відкл_вк} = 0,04$ с; t_{P3A} – максимальний час дії РЗА, $t_{P3A} = 0,07$ с; I_T – гранична сила струму термічної стійкості за довідником [20]; t_T – час протікання сили струму термічної стійкості.

$$B_k = 25,75^2 \cdot (0,06 + 0,07 + 0,05) = 119,6 \text{ кА}^2\text{с};;$$

$$I_T^2 t_T = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2\text{с};;$$

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

$$B_k = 119,6 < I_T^2 t_T = 7500 \text{ кА}^2 \text{с.}$$

Виконаємо перевірку на термічну стійкість роз'єднувача [20]:

$$I_T^2 t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{кА}^2 \text{с};$$

$$B_k = 119,6 < I_T^2 t_T = 4800 \text{кА}^2 \text{с.}$$

Виконаємо перевірку на динамічну стійкість роз'єднувача [20]:

$$i_y = 89,557 \leq i_{np.c} = 100 \text{ кА.}$$

Отримані дані зведено до табличного вигляду і представлено в додатку В, таблиці В.1 та В.2.

3.1.2 Розрахунок та підбір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ№2 на 220 кВ

Визначимо силу струму, що тече від найбільш потужного підключення (тобто генератора) згідно формули (3.1):

$$I_{розр} = \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 220} = 616,7 \text{ А.}$$

Приймаємо до монтажу повітряний вимикач типу ВВД-220Б-40/2000ХЛ1 та роз'єднувач типу РНД-220/2000 У1.

Розрахуємо аперіодичні складові сили струму КЗ, що виникає, а також ударні сили струмів згідно до формул (3.2 – 3.3).

Визначимо аперіодичні складові сил струмів, що течуть від джерел:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$i_{a,\tau_{C1,K2}} = \sqrt{2} \cdot 2,78 \cdot e^{\frac{0.07}{0.05}} = 0,968 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau_{C2,K2}} = \sqrt{2} \cdot 12,426 \cdot e^{\frac{0.07}{0.05}} = 4,33 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau_{G1-G2,K2}} = \sqrt{2} \cdot 2,228 \cdot e^{\frac{0.07}{0.26}} = 2,4 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau_{G3-G5,K2}} = \sqrt{2} \cdot 6,862 \cdot e^{\frac{0.07}{0.26}} = 7,414 \text{ кА}.$$

Знайдемо сумарну аперіодичну складову силу струму:

$$i_{a,\tau_{\Sigma,K2}} = 15,12 \text{ кА}.$$

Визначимо ударні сили струмів згідно формули (3.3):

$$i_{y_{C1,K2}} = \sqrt{2} \cdot 2,78 \cdot (1 + e^{\frac{0.01}{0.05}}) = 7,143 \text{ кА};$$

$$i_{y_{C2,K2}} = \sqrt{2} \cdot 12,426 \cdot (1 + e^{\frac{0.01}{0.05}}) = 31,96 \text{ кА};$$

$$i_{y_{G1-G2,K2}} = \sqrt{2} \cdot 2,228 \cdot (1 + e^{\frac{0.01}{0.26}}) = 6,182 \text{ кА};$$

$$i_{y_{G3-G5,K2}} = \sqrt{2} \cdot 6,862 \cdot (1 + e^{\frac{0.01}{0.26}}) = 19,04 \text{ кА}.$$

Знайдемо сумарну ударну складову силу струму:

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

$$i_{y_{\Sigma, K2}} = 64,33 \text{ кА.}$$

Виконаємо перевірку вибраних вимикачів для ВРУ№2 відповідно до здатності до відключення.

Перевірка по симетричній силі струму відключення [20]:

$$I_{нт} = 24,293 < I_{відкл.ном} = 40 \text{ кА.}$$

Перевірка можливість відключення аперіодичної складового сили струму КЗ, що виникає згідно формули (3.4):

$$i_{ат} = 15,12 < i_{а.ном} = 13,01 \text{ кА.}$$

Виконаємо наступну перевірку вимикача, відносно до повної сили струму. Вимикач відповідає ТУ, якщо виконується умова (3.5) [20]:

$$49,48 < 69,57 \text{ кА.}$$

Вимикач відповідає умовам перевірки.

Електродинамічна стійкість вимикача типу ВВД-220Б-40/2000ХЛ1 перевіряється по граничній наскрізній силі струму КЗ, що виникає у точці К2 згідно із (3.6):

$$I_{n0} = 24,293 \leq I_{нр.с} = 40 \text{ кА;}$$

$$i_y = 64,33 \leq i_{нр.с} = 102 \text{ кА.}$$

Отже, обраний вимикач типу ВВД-220Б-40/2000ХЛ1 є динамічно стійким.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

На термічну стійкість вимикач типу ВВД-220Б-40/2000ХЛ1 перевіряється відповідно до теплового імпульсу згідно із формулою (3.7) [20]:

$$B_k = 21,91^2 \cdot (0,06 + 0,07 + 0,05) = 86,4 \text{кА}^2\text{с};$$

$$I_T^2 t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{кА}^2\text{с};$$

$$B_k = 86,4 < I_T^2 t_T = 4800 \text{кА}^2\text{с}.$$

Виконаємо перевірку на термічну стійкість роз'єднувача типу РНД-220/2000 У1 [20]:

$$I_T^2 t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{кА}^2\text{с};$$

$$B_k = 86,4 < I_T^2 t_T = 4800 \text{кА}^2\text{с}.$$

Виконаємо перевірку на динамічну стійкість роз'єднувача типу РНД-220/2000 У1 [20]:

$$i_y = 64,33 \leq i_{np.c} = 100 \text{кА}.$$

Отримані дані зведено до табличного вигляду і представлено в додатку В, таблиці В.3 та В.4.

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок та вибір вимірювальних трансформаторів

3.2.1 Розрахунок та вибір трансформаторів струму (ТС)

Виконаємо підбір та розрахунок ТС, який буде монтуватись на стороні 110 кВ за трансформатором блоку (рис. 3.1).

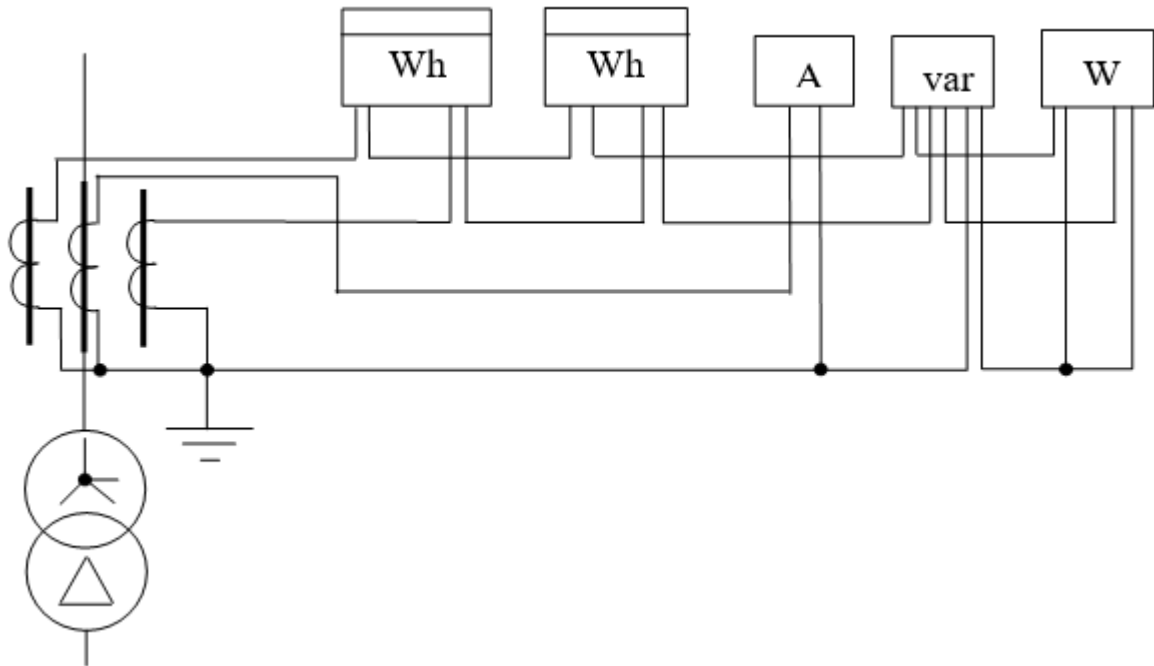


Рисунок 3.1 – Підключення КВП до ТС

Обираємо до монтажу ТС як вбудований у блок трансформатору на боці 110 кВ за робочою напругою в місці підключення ТС: $U_{роб} = 110$ кВ.

Визначимо номінальну силу струму, що тече крізь первинну обмотку ТС згідно із (3.1):

$$I_{розр} \leq I_{ном}; \quad (3.8)$$

$$I_{розр} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 110} = 1312 \text{ А};$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.
70

$$I_{розр} = 1312 \leq I_{ном} = 1500 \text{ А.}$$

Виходячи з отриманих аналітичних даних, обираємо до монтажу ТС типу ТВТ110-III-2000/5 [20-22].

Виконаємо перевірку обраного ТС на термічну стійкість згідно із (3.7):

$$B_k = 33,7^2 \cdot (0,04 + 0,07 + 0,05) = 181,71 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$I_{дон}^2 t_{дон} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_k = 181,71 < I_{дон}^2 t_{дон} = 1875 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Перевірка на динамічну стійкість для вбудованих ТС не виконується [20, 23].

Виконаємо перевірку на перевантажувальну здібність:

$$z_{2ном} \geq z_2 \approx r_2; \quad (3.9)$$

$$z_2 = z_{проводів} + z_{приладів} + z_{контактів}; \quad (3.10)$$

$$z_{проводів} = \frac{l \cdot k_{cx}}{\gamma \cdot S},$$

де l – довжина сполучних проводів, м; k_{cx} – коефіцієнт схеми підключення ТС; γ – питома щільність міді; S – поперечний перетин проводу, визначається згідно до довідникової літератури [23]; $z_{контактів}$ – для болтового з'єднання приймається рівним $z_{контактів} = 0,1 \text{ Ом}$.

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

$$z_{\text{приладів}} = \frac{S_{\text{приладів}}}{I_2^2} = \frac{3,5}{5^2} = 0,14 \text{ Ом};$$

$z_{\text{ном}}$ – номінальне вторинне навантаження, при вторинній силі струму 5А в класі точності 1,5 приймається рівним $z_{\text{ном}} = 3 \text{ Ом}$.

Звідки знайдемо:

$$z_{\text{проводів}} = z_{\text{ном}} - z_{\text{приладів}} - z_{\text{контактів}}; \quad (3.11)$$

$$z_{\text{проводів}} = 3 - 0,14 - 0,1 = 2,76 \text{ Ом};$$

$$l_{\text{проводів}} = \frac{z_{\text{проводів}} \cdot S}{\rho}; \quad (3.12)$$

$$l_{\text{проводів}} = \frac{2,76 \cdot 2,5}{0,0175} = 394,29 \text{ м.}$$

Довжина проводу підключення повинна бути не більше розрахованого значення [20].

Отримані дані зведено до табличного вигляду і представлено в додатку Г, таблиці Г.1 та Г.2. Таким чином, обрані типи ТС для монтажу, відповідають всім умовам вибору та виконаним перевіркам.

3.2.2 Розрахунок та вибір трансформаторів напруги (ТН)

Виконаємо розрахунок та вибір ТН, що монтуватиметься на генераторній напрузі (рис. 3.2). Вибір виконуємо згідно із робочою напругою:

$$U_{\text{роб}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (3.13)$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72

15,75 ≤ 20 кВ.

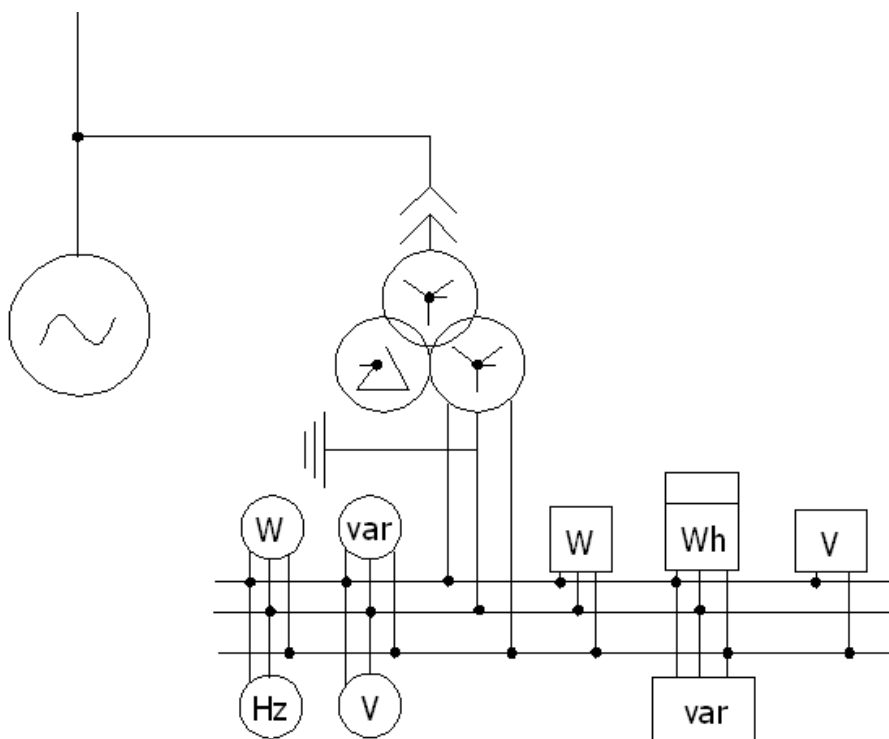


Рисунок 3.2 – Підключення КВП до ТН

Виконаємо вибір ТН за потужністю, що споживається підключеними приладами:

$$S_{ном} \geq S_2. \quad (3.14)$$

Наприклад, до ТН підключені наступні типи приладів із вказаними потужностями (рис. 3.2):

1. Частотомір, тип - ЕД2230, споживана потужність - $S_{спож} = 2,5$ ВА ;
2. Ватметр, тип - Ц301, споживана потужність $S_{спож} = 2$ ВА ;
3. Вольтметр, тип - Ц33-М1, споживана потужність $S_{спож} = 1$ ВА ;
4. Варметр, тип - Ц301/1, споживана потужність $S_{спож} = 2$ ВА ;
5. Реєструючі прилади (див. рис. 3.2):
 - 5.1. Ватметр, тип - Н-395, споживана потужність $S_{спож} = 2$ ВА ;
 - 5.2. Вольтметр, тип - Н-393, споживана потужність $S_{спож} = 2$ ВА ;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.
73

5.3. Варметр, тип - Н-395, споживана потужність $S_{\text{спож}} = 2 \text{ ВА}$;

5.4. Лічильник ват-годин, тип - ЛА4У-І672М, $S_{\text{спож}} = 8 \text{ ВА}$.

Знайдемо сумарну споживану потужність приладів, що підключені:

$$S_2 = 2,5 + 2 + 1 + 2 + 2 + 2 + 2 + 8 = 21,5 \text{ ВА.}$$

Розраховане навантаження для однієї фази, приймаємо до монтажу: ТН типу ЗНОМ-20-63У2 в кількості три штуки по одному на кожную фазу, із $S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$ на кожную фазу в класі точності 0,5 [11].

На кожній секції збірних шин для ВРУ№2 на 220 кВ монтується ТН типу НКФ-220-58У1 для можливості підключення вольтметра із спеціальним перемикачем для вимірювання рівнів напруги між фазами, реєструючого вольтметра та спеціального пристрою для фіксації (U_0), короткі характеристики: $U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$, вторинне $S_{\text{ном}} = 400 \text{ ВА}$ в класі точності 0,5 [11].

На кожній секції збірних шин для ВРП№1 на 110 кВ монтується ТН типу НКФ-110-83У1 для підключення вольтметра із спеціальним перемикачем для вимірювання рівнів напруги між фазами, реєструючого вольтметра та спеціального пристрою для фіксації (U_0), короткі характеристики: $U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$, вторинне $S_{\text{ном}} = 400 \text{ ВА}$ в класі точності 0,5 [11].

В КРУ 6 кВ, а також на низькій стороні обох встановлених РТВП монтується ТН типу НТМІ-6-66У3, короткі характеристики: вторинне $S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$ в класі точності 0,5 [11].

Розглянемо встановлення ТН на секціях 6 кВ ВП. До нього будуть підключаються кола напруги варметрів та ватметрів, розрахункових лічильників реактивної та активної енергії, вольтметр із спеціальним перемикачем для вимірювання напруги на секції шин та контролю ізоляції [11].

У таблиці Г.3 наведено розрахунок вторинного навантаження даного ТН (див. Додаток Г).

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо фактичне навантаження ТН (див. табл. Г.3).

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (3.15)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{18^2 + 29^2} = 34,13 \text{ ВА.}$$

Обраний ТН типу НТМІ-6УЗ в класі точності 0,5, необхідного для приєднання розрахункових лічильників, володіє $S_{ном} = 75 \text{ ВА}$. Таким чином, оскільки виконується умова $S_2 = 34,13 < S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$, то ТН будуть працювати в обраному класі точності [7, 11].

Висновки до розділу

Було виконано розрахунок та підбір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ№1 на 110 кВ та для ВРУ№2 на 220 кВ, визначили аперіодичні складові сил струмів, що течуть від джерел, виконали перевірку вибраних вимикачів для відповідно до здатності до відключення та на термічну стійкість. Необхідні розрахунки та перевірки також було виконано і для обраних роз'єднувачів.

Були обрані вимірювальні прилади на всіх приєднаннях проєкту теплоелектростанції. Виконано розрахунок та обрано вимірювальні трансформатори струму та напруги для відкритих розподільних установок.

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

Загальні висновки

Було проаналізовано загальні відомості про види теплових електростанцій. Виконано розрахунок параметрів головної схеми електричних з'єднань для проєкту ТЕС, а саме вибрано основне обладнання та вибрано автотрансформатори зв'язку для проєкту ТЕС, результати вибору зведено до табличного вигляду.

Було проведено розрахунок необхідної кількості ліній електропередачі та підбір схеми ВРУ для проєкту ТЕС. Визначено параметри елементів еквівалентної схеми заміщення та виконано розрахунок виникаючих струмів КЗ, визначено початкові значення періодичних складових сил струмів, що течуть від джерел, проведено розрахунок еквівалентної схеми заміщення відносно точок К1-К9.

Було виконано розрахунок та підбір вимикачів та роз'єднувачів для ВРУ№1 на 110 кВ та для ВРУ№2 на 220 кВ, визначили аперіодичні складові сил струмів, що течуть від джерел, виконали перевірку вибраних вимикачів для відповідно до здатності до відключення та на термічну стійкість. Необхідні розрахунки та перевірки також було виконано і для обраних роз'єднувачів.

Були обрані вимірювальні прилади на всіх приєднаннях проєкту теплоелектростанції. Виконано розрахунок та обрано вимірювальні трансформатори струму та напруги для відкритих розподільних установок.

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

дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 219 с.

18. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с/

19. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.

20. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с. ISBN 978-617-669-015-3

21. Козлов В. Д. Електричні апарати. Модуль 1. – К.: НАУ, 2005.– 92 с.

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

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

					<i>БРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		79

ДОДАТКИ

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		