

ЗАЯВА

Я, Масе Сергій Володимирович
(ПІБ повністю)

Студент групи ЕМ 2021

(шифр групи)

Спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
(код та назва спеціальності)

електромеханіка

освітньої програми Електромеханічні системи
(назва освітньої програми)

автоматизації та електротехніки

освітнього ступеня підготовки

(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:
Визначення позиційних варіантів утримання
вінтрів електромеханіки до системи мовного електро-
системи за допомогою змінних електричних параметрів з метою
визначення параметрів системи.
виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

«18» листопада 2021 р.



Підпис

Керівник роботи



ПІБ



Підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 /Андрій МУХА/

« 20 » 12 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

Тема **Визначення раціональних варіантів присднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму**

Theme **Determination of rational options for connection of wind power plants to the traction power supply system of the railways of Ukraine electrified by the AC traction system**

Керівник дипломної роботи

доц.  Олег БОНДАР

Нормоконтролер

доц.  Оксана КАРЗОВА

Студент групи ЕП2021

 Сергій МАСЯ

Student

Masia Serhii

Дніпро – 2021

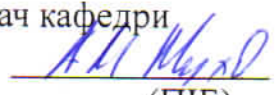
Український державний університет науки і технологій

Факультет Управління енергетичними процесами
кафедра Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


(підпис)


(ПІБ)

“04” 08 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР “магістр”
(освітньо-кваліфікаційний рівень)
студента групи 264-М (ЕП2026) Масі Сергія Володимировича
(номер групи) (прізвище, ім'я по батькові)

1. Тема дипломної роботи Визначення раціональних варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму.

затверджена наказом по університету № 799ст від “31” 12 2020 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 06.12.2021 р.

3. Вихідні дані до дипломної роботи:

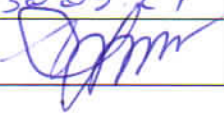
Схема головних електричних з'єднань тягової підстанції системи тяги змінного струму до якої планується приєднання вітрової електростанції (ВЕС), дані про споживання електричної енергії на електрифікованій ділянці, загальні технічні характеристики основного обладнання тягової підстанції, передбачувана принципова схема, тип генераторів ВЕС та їх відповідні технічні характеристики, дані про значення струмів короткого замикання на вводі тягової підстанції.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань до розробки): Наявні нормативні документи щодо проектування ВЕС та вимог відносно приєднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж, Аналіз існуючої на сьогодні ситуації з використанням енергії відновлюваних джерел по ДП «Енергоринок» та АТ «Укрзалізниця», формулювання критеріїв раціональності варіантів приєднання ВЕС до систем тягового електропостачання та формування можливих варіантів приєднання ВЕС з урахуванням схемних особливостей тягових підстанцій системи тяги змінного струму. Розробити схеми заміщення розглянутого електротехнічного комплексу «тягова підстанція - ВЕС» в режимах короткого замикання на шинах розподільчих установок підстанцій для різних варіантів приєднання ВЕС. У відповідності до розроблених схем заміщення, шляхом математичного моделювання провести дослідження впливу приєднання вітрової електростанції на струми короткого замикання в системі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Однолінійна схема тягової підстанції, принципові схемні рішення та основне обладнання ВЕС, схеми заміщення електротехнічного комплексу «тягова підстанція

ВЕС» для режимів короткого замикання, результати розрахунків струмів короткого замикання, висновки і рекомендації на підставі проведених досліджень.

6. Консультанти (з назвами розділів)

Розділ	консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Основна частина	Бондар О.І.	 30.09.21	 18.12.21
БЖД	Саблін О.І.		

7. Дата видачі завдання “ 30 ” 09 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломного проекту	Термін виконання	Примітка
1	Вступ, основна частина – 30%	17.10.21	
2	Основна частина – 60%	14.11.21	
3	БЖД	21.11.21	
4	Графічні роботи, 100% готовності диплому	05.12.21	

Студент-дипломник



(підпис)

Керівник роботи (проекту)



(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота містить: 56 сторінок основного тексту, 8 таблиць, 11 рисунків, 16 літературних джерел, 1 додаток.

Мета роботи – створення еквівалентних розрахункових схем заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція змінного струму-вітрова електростанція» у режимах короткого замикання в розподільчих установках тягової підстанції при різних варіантах приєднання вітрової електростанції та встановлення на цій основі характеру зміни діючих значень згаданих струмів короткого замикання при збільшенні потужності приєднаної вітрової електростанції (ВЕС).

В розділі 1 проаналізовано структурні особливості складових системи «Тягова підстанція системи тяги змінного струму-вітрова електростанція», систематизовано відомості щодо схеми головних електричних з'єднань тягової підстанції ЕЧЕ-16 «Дубно», надано відомості щодо вітрового потенціалу регіону передбачуваного розташування ВЕС та її передбачуваного основного обладнання.

В розділі 2 розроблено схеми заміщення електротехнічної системи «ЕЧЕ 16-ВЕС» в режимі трифазного короткого замикання на шинах тягової підстанції для варіантів приєднання вітрової електростанції до шин розподільчої установки РУ-27,5 кВ або РУ-35 кВ а також надано методику визначення параметрів згаданих схем. На цій основі виконано дослідження впливу зростання потужності інтегрованої ВЕС на струми трифазного короткого замикання у розподільчих установках ЕЧЕ-16 та отримано відповідні залежності. За результатами розрахунків надано рекомендації щодо раціональних варіантів приєднання вітрової електростанції до тягової підстанції ЕЧЕ-16 в залежності від потужності передбачуваної ВЕС.

В розділі 3 розглянуті вимоги безпеки праці під час виконання робіт на кабельних лініях, порядок дій у випадку пожежі на об'єктах електроенергетики, а також надано перелік належного пожежного інвентарю та засобів пожежогасіння які мають бути наявні на ВЕС.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРИФІКОВАНА ЗАЛІЗНИЦЯ, ЗМІННИЙ СТРУМ, ТЯГОВА ПІДСТАНЦЯ, ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦЯ, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ПОТУЖНІСТЬ ВЕС.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТОПОЛОГІЯ СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ «ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ ЗМІННОГО СТРУМУ – ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ (ВЕС)»	9
1.1 Схема головних електричних з'єднань та основне обладнання тягової підстанції змінного струму ЕЧЕ 16 Дубно	9
1.2 Вітровий потенціал регіону розташування та пропонована структура приєднаної вітрової електростанції	10
1.3 Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2 ПРОГНОЗУВАННЯ ЗРОСТАННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВКАХ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ПРИЄДНANOЇ ПОТУЖНОСТІ ВЕС	14
2.1 Розробка схем заміщення електротехнічної системи «ЕЧЕ 16-ВЕС» при різних варіантах приєднання вітрової електростанції	14
2.2 Струми короткого замикання при приєднанні ВЕС до РУ-27,5 кВ	20
2.3 Струми короткого замикання при приєднанні ВЕС до РУ-35 кВ	28
2.4 Висновки до розділу 2	37

					Пояснювальна записка			
					Визначення раціональних варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мася С. В.		20.12			1	1 : 1
Перевір.		Бондар О. І.		20.12				
Т. Контр.						Арк.	5	Аркушів 56
Реценз.					0024.ДМР21.03.ПЗ	УДУНТ, гр. 264-М		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12				
Затверд.		Муха А.М.		20.12				

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	39
3.1 Вимоги безпеки праці під час виконання робіт на кабельних лініях	39
3.1.1 Земляні роботи	39
3.1.2 Розкриття муфт, розрізання кабелю	40
3.1.3 Прокладання, перекладання кабелів і перенесення муфт	42
3.2 Дії персоналу в надзвичайних ситуаціях: порядок дій у випадку пожежі	43
3.2.1 Загальні вимоги	43
3.2.2 Пожежний інвентар та засоби пожежогасіння наявні на ВЕС	49
3.3 Висновки до розділу 3	50
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	55
ДОДАТОК А	58

ДОДАТОК А					58	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	0024.ДМР21.03.ПЗ	
					Лист	
					6	

ВСТУП

У відповідності до положень Енергетичної стратегії України на період до 2035 року передбачається вагоме збільшення використання усіх видів відновлюваної енергетики, яка стане одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки держави. Зокрема на період до 2025 року має зрости частка відновлюваної енергетики до рівня 12 % від усього обсягу загального первинного постачання енергії та не менше 25 % – до 2035 року [1]. Тому можна прогнозувати, що за умови подальшого зменшення вартості енергії від зазначених джерел, їх економічно обґрунтований потенціал буде зростати. В свою чергу зазначений тренд має актуалізувати наукові дослідження щодо інтеграції відновлюваних джерел енергії до енергетичної системи України та її окремих складових частин.

Однією з важливих складових енергосистеми України є система електропостачання українських залізниць. На 2020 рік обсяг споживання електричної енергії в цілому по АТ Укрзалізниця складає 16622006692 МДж [2]. При цьому частка енергії вітрових електростанцій складає 1,15 % від закупленого обсягу, а для сонячних електростанцій 1,73 %. В цілому по енергетичному ринку України відповідні частки складають 2,3% та 4,3% відповідно [3] при сумарній встановленій потужності об'єктів відновлюваної енергетики 7694 МВт [4]. Таким чином, це може свідчити, що з одного боку система електропостачання залізниць має не реалізовані поки що перспективи у використанні енергії відновлюваних джерел, і, одночасно, наявний обсяг споживання все ще є на сьогоднішній день незначним [5].

На теперішній час довжина електрифікованих залізниць України складає приблизно 9900 км, з яких більша частина (біля 5100 км) електрифікована за системою тяги змінного однофазного струму напругою 27,5 кВ при частоті 50 Гц [5]. Згадані залізничні лінії прокладено через просторі території центру, заходу та південного заходу країни. Згідно з оцінками Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) ці території у регіоні Південно-Східної Європи володіють найбільшим технічним потенціалом впровадження віднов-

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

люваних джерел енергії, причому найбільшу її частину складає вітрова енергетика – 859 ГВт·год на рік [6].

Враховуючи сучасні тенденції переходу до систем розподіленого живлення у системах тягового електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії (так звані гібридні системи) представляється логічним використання вищезгаданого потенціалу вітрової енергетики у якості додаткового незалежного джерела живлення системи тягового електропостачання змінного струму напругою 27,5 кВ [7]. Проте на сьогодні практичний досвід інтеграції вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України відсутній, тому постає ряд завдань суто технологічного плану. З позицій забезпечення безперебійності електропостачання тягової мережі важливим аспектом такої інтеграції, на нашу думку, є прогнозування впливу приєднаної потужності вітрової електростанції (ВЕС) на струми короткого замикання в розподільчих установках тягових підстанцій. Такі прогнози важливі не лише з позицій забезпечення безпеки руху поїздів але й допоможуть зробити оцінки щодо необхідного обсягу модернізації основного обладнання тягової підстанції до якої заплановано приєднання вітрової електростанції. З викладеного вище можливо зробити припущення, що найбільш раціональним шляхом здійснення такого прогнозування є математичне моделювання електромагнітних процесів в розподільчих установках тягової підстанції на основі комплексного підходу, який полягає у тому, що зазначена підстанція та вітрова електростанція розглядаються у взаємозв'язку, як єдиний електротехнічний комплекс. Тому метою даної роботи є створення еквівалентних розрахункових схем заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція змінного струму – вітрова електростанція» у режимах короткого замикання в розподільчих установках тягової підстанції при різних варіантах приєднання вітрової електростанції та встановлення на цій основі характеру зміни діючих значень згаданих струмів короткого замикання при збільшенні потужності приєднаної ВЕС.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

РОЗДІЛ 1

ТОПОЛОГІЯ СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ «ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ ЗМІННОГО СТРУМУ-ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ (ВЕС)»

1.1 Схеми головних електричних з'єднань та основне обладнання тягової підстанції змінного струму ЕЧЕ 16 Дубно

З метою забезпечення вимог щодо надійності електропостачання [8] тягова підстанція системи тяги змінного струму «Дубно» (ЕЧЕ-16) Рівненської дистанції електропостачання (ЕЧ-3) Львівської залізниці приєднано до системи зовнішнього електропостачання по двом повітряним лініям напругою 110 кВ (Л125 «Рівне» та Л124 «Радзівилів»). Схему головних електричних з'єднань ЕЧЕ-16 наведено у додатку А.

Розподільчу установку РУ-110кВ секціоновано через високовольний вимикач на дві секції шин таким чином, щоб лінії Л124 та Л125 передавали електроенергію на до I та II секцій шин відповідно. Від вказаних секцій отримують живлення головні знижувальні трансформатори (ГЗТ) Т1 та Т2. Ці трифазні триобмоткові трансформатори мають номінальну потужність 40 МВА кожний та призначені для живлення як тягових так і нетягових навантажень. Реалізовані схемні рішення а також значення номінальної потужності трансформаторів забезпечують безперебійне електропостачання усіх споживачів першої категорії при роботі одного (будь-якого) з двох ГЗТ.

Розподільча установка РУ-35кВ отримує живлення від обмоток середньої напруги Т1 та Т2. Далі до нетягових споживачів електрична енергія передається по повітряних лініях ЛЗ1 «Дубно», ЛЗ2 «Тростянець», ЛЗ3 «Смига» (живлення від I секція шин РУ-35кВ) а також ЛЗ4 «Цукрозавод» , ЛЗ5 «Дубно-2» (живлення від II секція шин РУ-35кВ).

Тягову РУ-27,5 кВ підключено до обмоток низької напруги обох ГЗТ. Від I секції шин РУ-27,5 кВ живляться фідери контактної мережі №1 - №3, фідер лінії «два проводи – рейка» ДПР-1, трансформатор власних потреб ТСН №1 а також вимірювальний трансформатор напруги ТН №1 та фільтр-компенсуючий

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

пристрій. Від II секції шин РУ-27,5 кВ живляться фідери контактної мережі №5, №6, фідер лінії «два проводи – рейка» ДПР-2, трансформатор власних потреб ТСН №2 а також вимірювальний трансформатор напруги ТН №2.

Описані вище особливості тягової підстанції ЕЧЕ-16 «Дубно» є в цілому характерними для тягових підстанцій системи тяги змінного струму електрифікованих залізниць України та мають бути враховані під час розробки розрахункової схеми заміщення підсистеми «тягова підстанція» розглядуваної електротехнічної системи «ЕЧЕ 16-ВЕС» для подальшого математичного моделювання аварійних режимів в розподільчих установках вказаної підстанції.

1.2 Вітровий потенціал регіону розташування та пропонується структура приєднаної вітрової електростанції

За оцінками Інституту відновлюваної енергетики НАН України, а також міжнародних та вітчизняних експертних установ [6], серед відновлюваних джерел найбільший потенціал розвитку має вітрова енергетика, встановлені потужності якої можуть сягнути 10 ГВт у 2030 році, а річні обсяги виробництва електроенергії – 30 тис. ГВт·год. Потенціал сукупного виробництва електроенергії з ВДЕ при цьому складатиме 45,5 тис. ГВт·год.

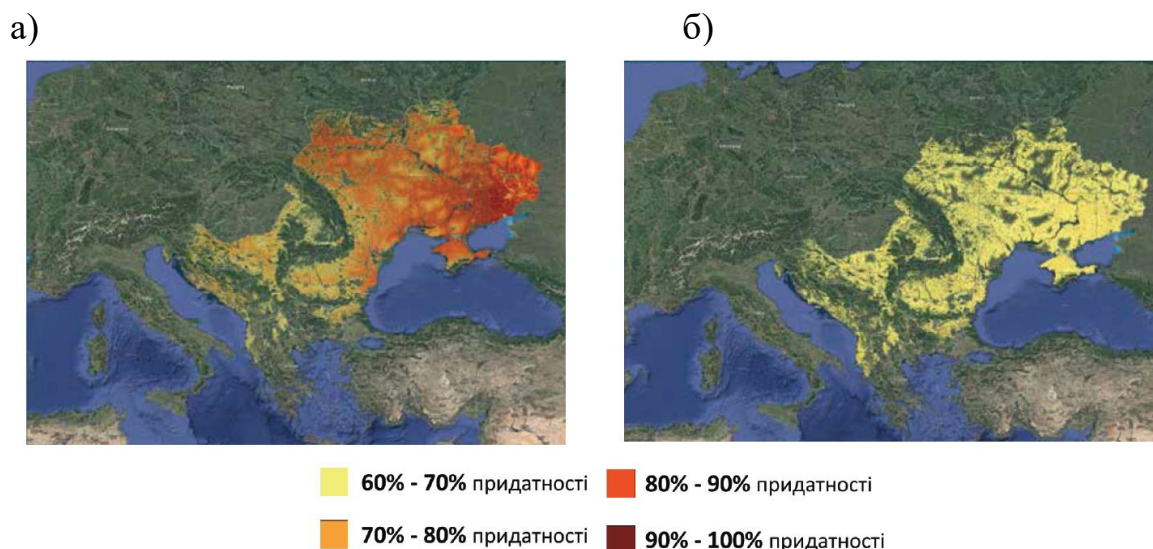


Рис. 1.1. Придатні для інвестицій у вітрову енергетику а) та у сонячну енергетику б) території Південно-Східної Європи

В аспекті застосування енергії відновлюваних джерел (ВДЕ) для потреб системи електричної тяги АТ «Укрзалізниця» спираючись на дані наведені на

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

рис. 1.1 в першу чергу з точки зору окупності інвестицій слід приділити увагу проблемам використання енергії вітру. Треба зауважити, що хоча більша частина довжини електрифікованих залізниць України працює за системою тяги змінного струму, практичного досвіду приєднання вітрових електростанцій до тягових підстанцій змінного струму на сьогодні не існує. В той же час на Львівській залізниці успішно здійснено інтеграцію вітрової електростанції «Старий Самбір-1» до системи електропостачання ділянки залізниці, яку електрифіковано за системою тяги постійного струму. Тому з урахуванням цього факту представляється доцільним для початку запропонувати проектні рішення з метою розповсюдження наявного досвіду на ділянки Львівської залізниці, що електрифіковано по системі тяги змінного струму, наприклад, Рівненську дистанцію електропостачання ЕЧ-3.

З метою максимального використання вже відпрацьованих інженерних рішень пропонується структура та основне обладнання майбутньої ВЕС прийняти аналогічною до діючої ВЕС «Старий Самбір-1», але на відміну від неї складатиметься з п'яти генеруючих блоків з використанням турбін Vestas V112 номінальною потужністю 3 МВт кожний (рис. 1.2). Зазначена турбіна працює на частоті 50 Гц при швидкостях вітру від 4 до 23 м/с. Діаметр її ротора становить 112 м, а висота над поверхнею ґрунту у робочому положенні досягає 119 м. Ця турбіна може працювати в діапазоні температур від -20°C до +45°C, що підходить відповідає кліматичним умовам місцевості де розташовано об'єкти Рівненської дистанції електропостачання. Прогнозоване річне виробництво електричної енергії становить 38 млн. кВт год., а річний відпуск електроенергії при цьому досягатиме 37 млн. кВт. год. Потрібні капіталовкладення лежать у межах 20,5 млн. євро, строк окупності - 7 років. Очікується, що за рахунок впровадження ВЕС викиди CO₂ зменшаться на величину до 32 тис м³. Вітрові турбіни Vestas V112 обладнано інтегрованою системою моніторингу, засобами підйому персоналу, системою пожежогасіння, та передбачають декілька режимів роботи при різній швидкості вітру.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд вітрової турбіни Vestas V112

Структурну схему генеруючого блоку пропонованої ВЕС представлено на рис. 1.3.

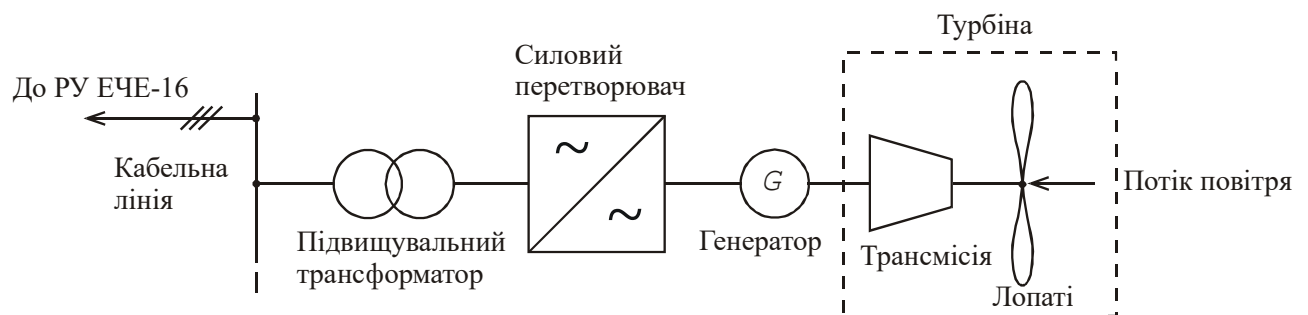


Рис. 1.3. Структурна схема генеруючого блоку пропонованої ВЕС

Окремий генеруючий блок розглядуваної ВЕС містить в своєму складі турбіну (основні складові – ротор з лопастями та чотириступенева планетарна трансмісія), генератор з постійними магнітами, силовий перетворювач частоти (масштабований конвертор). Далі отримана за рахунок первинної енергії вітру електрична енергія трифазного змінного струму промислової частоти

передається через підвищувальний трансформатор та високовольтну кабельну лінію до розподільчої установки тягової підстанції ЕЧЕ-16.

1.3 Висновки до розділу 1

- 1) Тягова підстанція ЕЧЕ-16 Дубно за топологію схеми головних електричних з'єднань має риси притаманні переважній більшості тягових підстанцій системи тяги змінного струму з первинною напругою 110 кВ. При розробці розрахункової схеми її заміщення в режимі короткого замикання (к.з.) на шинах кожної розподільчої установки слід врахувати що живлення від системи зовнішнього електропостачання завжди здійснюється по одній з живлячих ліній (Л124 або Л125) через один з двох головних знижувальних трансформаторів потужністю 40 МВА.
- 2) Під час дослідження впливу збільшення потужності ВЕС на струми к.з. тягової підстанції ЕЧЕ-16 буде логічним виходити з того, що до обраних у якості точки приєднання шин тягової підстанції будуть паралельно підключатись нові черги однотипних ВЕС аналогічних за обладнанням до ВЕС «Самбір-1». Усі проектні та технічні рішення щодо структури та обладнання пропонованої ВЕС мають відповідати вимогам нормативних документів [8-11].

РОЗДІЛ 2

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗРОСТАННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВКАХ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ПРИЄДНАНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВЕС

2.1 Розробка схем заміщення електротехнічної системи «ЕЧЕ 16-ВЕС» при різних варіантах приєднання вітрової електростанції

З позицій забезпечення безпеки руху поїздів головною вимогою до систем тягового електропостачання (СТЕ) є забезпечення безперервного живлення електрорухомого складу електричною енергією з визначеними показниками якості. Цю вимогу можна виконати лише у разі є нормальної роботи апаратури комутації та релейного захисту тягових підстанцій також і у випадку зростання потужностей короткого замикання на шинах відповідних РУ внаслідок приєднання нових генеруючих блоків ВЕС до існуючих складових систем тягового електропостачання. Звідси виникає задача передбачення впливу приєднаної вітрової електростанції на діючі значення струмів коротких замикань у розподільчих установках тягової підстанції, через яку здійснюється передача отриманої від ВЕС електроенергії.

Далі з урахуванням вимог щодо обсягу розділів даної роботи [12] слід визначити вид короткого замикання, що буде розглядатися, можливі точки приєднання ВЕС до шин тягової підстанції а також розрахункові точки струмів короткого замикання.

У більшості випадків серед усіх видів короткого замикання на шинах тягових підстанцій змінного струму найбільш небезпечним режимом є режим трифазного к.з., не зважаючи на те, що даний аварійний режим виникає відносно рідко (5% від загальної кількості ситуацій утворення коротких замикань в електроустановках). Тому, на нашу думку, з точки зору реалізації мети даної роботи розрахунки слід здійснювати для струмів трифазного короткого замикання, хоча в окремих випадках струм однофазного к.з. може мати навіть вищі значення за струм трифазного короткого замикання, а, наприклад, для перевірки чутливості релейного захисту важливим є струм

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

двофазного к.з., якому зазвичай притаманні мінімальні значення серед струмів усіх аварійних режимів.

Під час визначення кола варіантів можливих точок приєднання передбачуваної ВЕС до тягової підстанції системи тяги змінного струму СТЕ залізниць України вважаємо доцільним розглянути передусім співставні за капітальними витратами альтернативи [7] а, по-друге, враховувати наявний практичний досвід щодо інтеграції ВЕС «Самбір-1» до системи тяги постійного струму електрифікованої ділянки Львівської залізниці. З означених позицій можна запропонувати обмежитись двома варіантами приєднання ВЕС, умовно позначивши їх як «точка 1» та «точка 2», прийнявши у якості точки 1 II секцію шин

РУ-27,5 кВ, а у якості точки 2 II секцію шин РУ-35 кВ. В обох випадках запропоновано використовувати секцію з меншою кількістю наявних приєднань.

Щодо розрахункових точок короткого замикання, логічним представляється основну увагу приділити коротким замиканням у тяговому РУ-27,5 кВ (точка К1 у схемах рис. 2.1 та рис. 2.2) оскільки відповідні аварійні режими безпосередньо впливають на безперервність електропостачання рухомого складу. Також вважаємо за необхідне додатково проаналізувати струми короткого замикання у розподільчій установці РУ-35 кВ у разі підключення ВЕС до точки 2, оскільки у цьому випадку вплив ВЕС є максимальним на струми короткого замикання саме у цій точці.

Передбачається проводити розрахунок означених струмів короткого замикання із застосуванням положень стандартизованої методики та класичних методів розрахунку теорії лінійних електричних кіл синусоїдного струму в усталеному режимі на основі розроблених схеми заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція змінного струму-ВЕС» (рис. 2.1 та рис. 2.2), детальний опис яких надано в подальшому тексті.

Обидві ці схеми враховують особливості структури тягової підстанції ЕЧЕ-16 «Дубно» Львівської залізниці з приєднаною ВЕС по кабельній лінії до

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

шин розподільчої установки яку обрано у якості точки підключення Розрахунки виконано за умови передачі електричної енергії від системи зовнішнього електропостачання через одну повітряну лінію та один відповідний головний знижувальний трансформатор.

Опишемо детально позначені на схемі заміщення елементи.

$\underline{E}_{\text{сист}}, \underline{E}_{\text{втр1}} \dots \underline{E}_{\text{втр5}}$ – комплексні електрорушійні сили системи зовнішнього електропостачання та генеруючих секцій ВЕС.

$R_{\text{сист1}}, X_{\text{сист1}}$ – активний та реактивний еквівалентні опори системи зовнішнього електропостачання при умові живлення ЕЧЕ-16 через Л124 «Радзівілів» та Л125 «Рівне». Згідно з вихідними даними потужності короткого замикання на вході ЕЧЕ-16 $R_{\text{сист1}} = 3,34 \text{ Ом}$; $X_{\text{сист1}} = 26,96 \text{ Ом}$.

$R_{\text{в1}}, X_{\text{в1}}$ – активний та реактивний опори обмотки високої напруги (ВН) головного знижувального трансформатора (ГЗТ).

$R_{\text{с1}}, X_{\text{с1}}$ – активний та реактивний опори обмотки середньої напруги (СН) ГЗТ.

$R_{\text{н1}}, X_{\text{н1}}$ – активний та реактивний опори обмотки низької напруги (НН) ГЗТ.

$R_{\text{л1}}, X_{\text{л1}}$ – активний та реактивний опори лінії від ВЕС до розподільчої установки ЕЧЕ-16. Обчислення виконано для лінії довжиною $L=5 \text{ км}$ еквівалентним перерізом $3 \times \text{АС-120}$.

$R_{\text{пв1}} \dots R_{\text{пв5}}, X_{\text{пв1}} \dots X_{\text{пв5}}$ – активні та реактивні опори підвищуючих трансформаторів генеруючих секцій ВЕС.

Вказані опори обчислимо далі аналогічно виходячи з паспортних даних трансформаторів ВЕС (табл. 2.2) [13].

$X_{\text{г1}} \dots X_{\text{г5}}$ – реактивні еквівалентні опори генеруючих секцій ВЕС. Наближену методику їх визначення описано в [13] виходячи з максимальної потужності вітрового генератора та потужності к.з. у місці його приєднання.

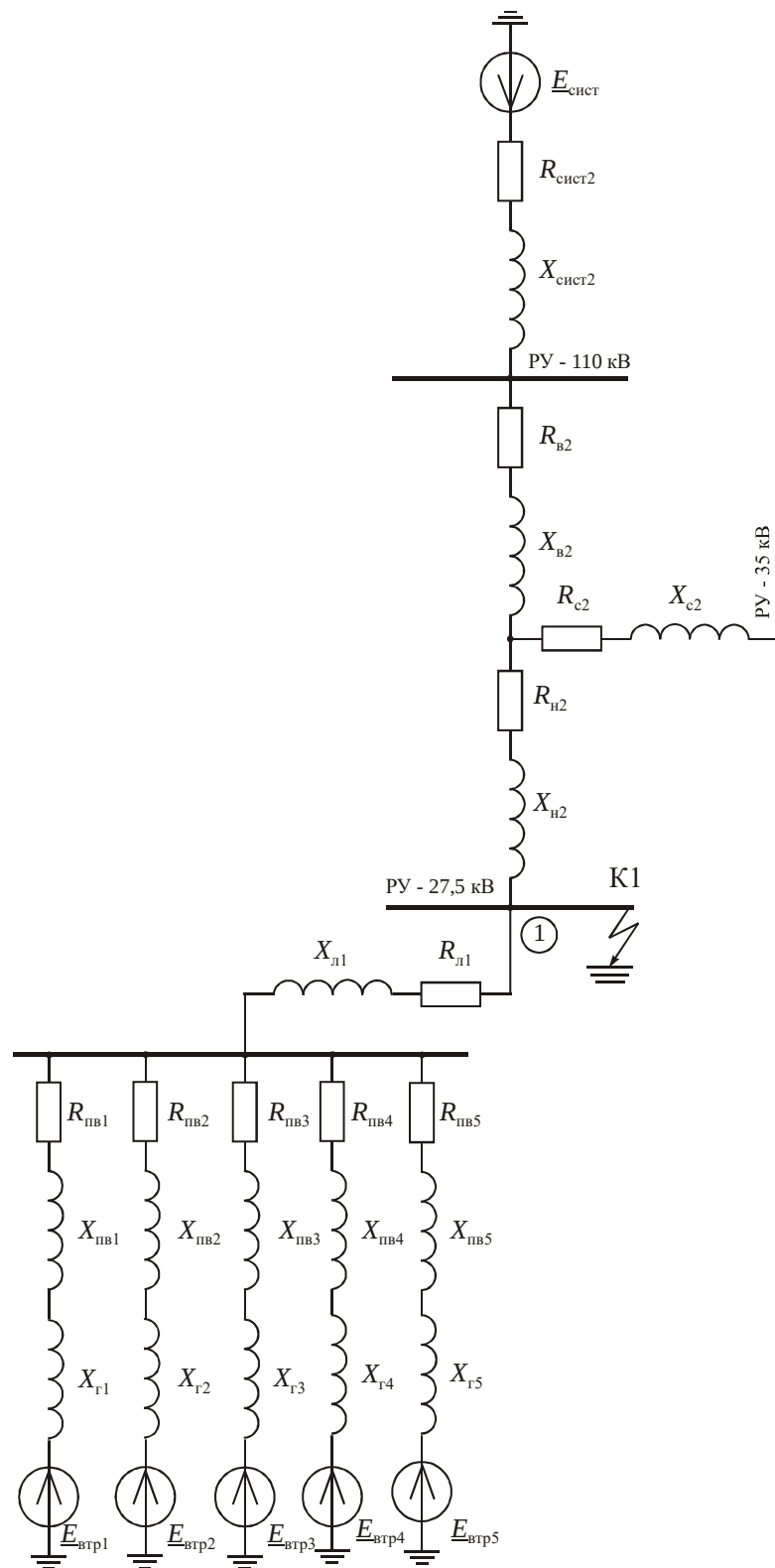


Рис. 2.1. Уніфікована схема заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція змінного струму-ВЕС» в режимі трифазного к.з. на шинах тягової розподільчої установки у випадку підключення ВЕС у точку 1;

K1 – розрахункова точка к.з.

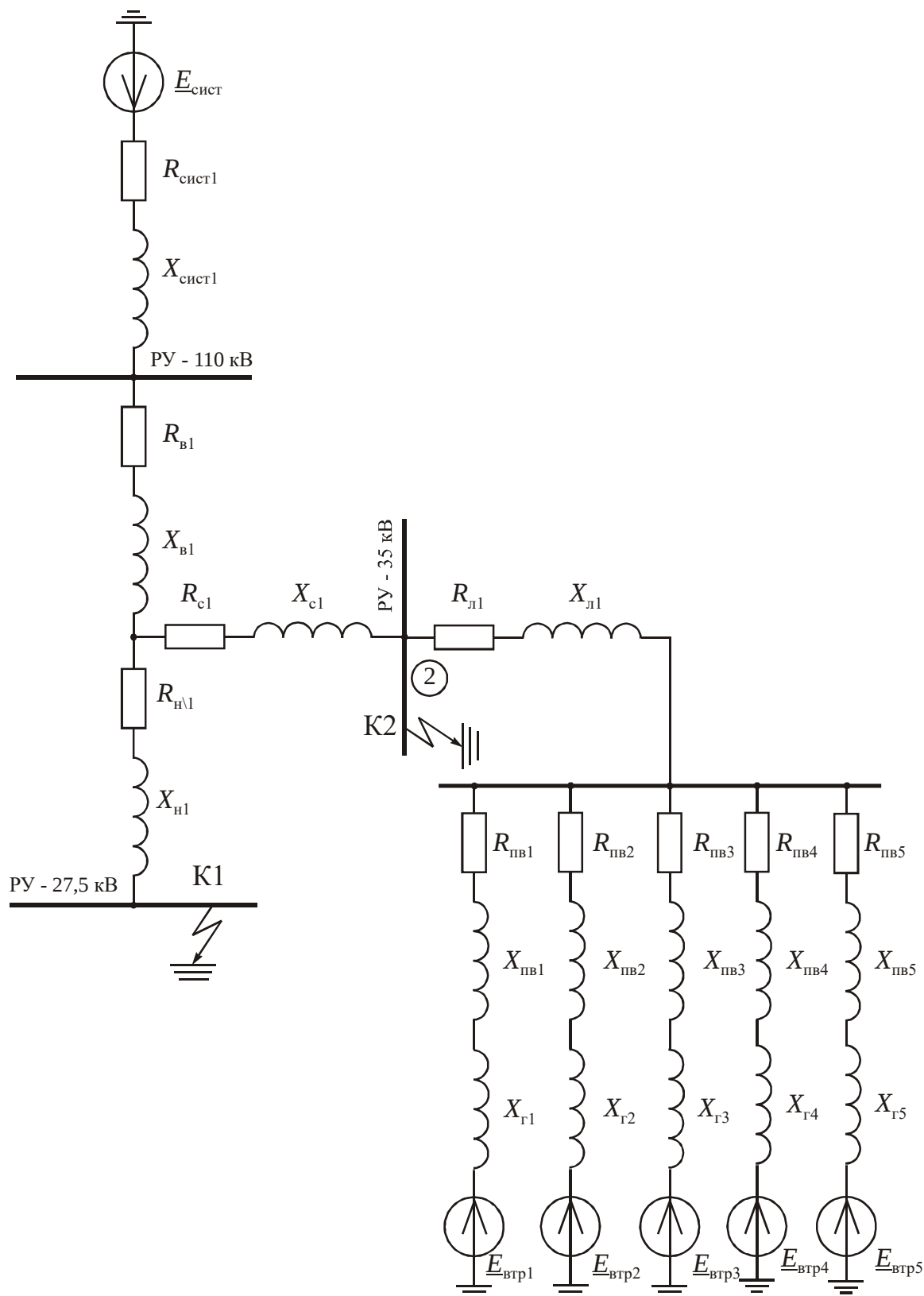


Рис. 2.2. Уніфікована схема заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція змінного струму-ВЕС» в режимі трифазного к.з. на шинах розподільчих установок у випадку підключення ВЕС у точку 2;
K1, K2 – розрахункові точки к.з.

Згадані опори обчислимо далі з урахуванням [13] базуючись на паспортних даних трансформаторів Т1 та Т2 [13] наведених у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні данні ГЗТ Т1 ЕЧЕ-23

Тип трансформатора	$S_{ГЗТ}$, МВА	Напруга обмотки, кВ			Втрати ΔP_K , МВт	Напруга короткого замикання u_K , %		
		$U_{НОМВН}$	$U_{НОМСН}$	$U_{НОМНН}$		u_K ВН-СН	u_K ВН-НН	u_K СН-НН
ТДТНЖ-40000/110 (Т1)	40	115	38,5	27,5	0,055	17,2	10,1	6,01
ТДТНЖ-40000/110 (Т2)	40	115	38,5	27,5	0,056			

Таблиця 2.2

Тип трансформатора та точка приєднання ВЕС	$S_{ПВ}$, кВА	Напруга обмотки, кВ		Втрати ΔP_K , кВт	Напруга короткого замикання u_K , %
		$U_{НОМВН}$	$U_{НОМНН}$		
ТМЖ-4000 (точка 1)	4000	27,5	0,4	12,2	7,2
Serie E.COL 36 kV (точка 2)	3150	36	0,4	20,2	

2.2 Струми короткого замикання при приєднанні ВЕС до РУ-27,5 кВ

Як вже було зазначено раніше, з міркувань гарантування безперебійного електропостачання тягових споживачів передусім слід дослідити вплив потужності приєднаної ВЕС на струми трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ, тому що саме до них приєднано фідери живлення тягової мережі.

Для цього спочатку обчислимо опори елементів схем заміщення рис. 2.2, а також рис. 2.4, які приведено до розрахункової напруги ступені к.з. $U_{\text{розр}} = U_{\text{номнн}} = 27,5$ кВ. Зокрема відносні значення напруги короткого замикання окремих обмоток ГЗТ Т1 обчислимо так:

$$u_{\text{к в1}} = \frac{1}{2} \cdot (u_{\text{к вн-сн1}} + u_{\text{к вн-нн1}} - u_{\text{к сн-нн1}}), \quad (2.1)$$

$$u_{\text{к с1}} = \frac{1}{2} \cdot (u_{\text{к вн-сн1}} + u_{\text{к сн-нн1}} - u_{\text{к вн-нн1}}), \quad (2.2)$$

$$u_{\text{к н1}} = \frac{1}{2} \cdot (u_{\text{к вн-нн1}} + u_{\text{к сн-нн1}} - u_{\text{к вн-сн1}}). \quad (2.3)$$

Результати розрахунку за формулами (2.1)-(2.3) наступні: $u_{\text{к в1}} = 10,65$ %; $u_{\text{к с1}} = 6,56$ %; $u_{\text{к н1}} = -0,55$ %. Тоді реактивні опори обмоток ГЗТ Т1:

$$X_{\text{в1}} = \frac{u_{\text{к в1}} \cdot U_{\text{розр}}^2 \cdot 10}{S_{\text{ГЗТ1}}}, \quad (2.4)$$

$$X_{\text{с1}} = \frac{u_{\text{к с1}} \cdot U_{\text{розр}}^2 \cdot 10}{S_{\text{ГЗТ1}}}, \quad (2.5)$$

$$X_{\text{н1}} = \frac{u_{\text{к н1}} \cdot U_{\text{розр}}^2 \cdot 10}{S_{\text{ГЗТ1}}}. \quad (2.6)$$

Відповідно $X_{\text{в1}} = 2,19$ Ом; $X_{\text{с1}} = 1,35$ Ом; $X_{\text{н1}} = -0,11$ Ом.

Активний опір пари обмоток ГЗТ на підставі його паспортних даних

$$R_{\text{Т1}} = \frac{\Delta P_{\text{к1}} \cdot U_{\text{розр}}^2 \cdot 10^3}{S_{\text{ГЗТ1}}^2}. \quad (2.7)$$

Отже, $R_{T1}=0,042$ Ом. Виходячи з того, що усі обмотки трансформатора розраховано на однакову потужність

$$R_{B1} = R_{C1} = R_{H1} = 0,5 \cdot R_{T1}. \quad (2.8)$$

Тоді, $R_{B1} = R_{C1} = R_{H1}=0,024$ Ом.

Подібним способом шляхом параметри параметри підвищуючого трансформатора кожної з генеруючих секцій ВЕС:

$$X_{ПВ1} = \frac{u_{к\text{ ПВ1}} \cdot U_{\text{розр}}^2 \cdot 10}{S_{ПВ1}}, \quad (2.9)$$

$$R_{ПВ1} = \frac{\Delta P_{к\text{ ПВ1}} \cdot U_{\text{розр}}^2 \cdot 10^3}{S_{ПВ1}^2}. \quad (2.10)$$

Оскільки трансформатори однотипні:

$$X_{ПВ1} = X_{ПВ2} = X_{ПВ3} = X_{ПВ4} = X_{ПВ5}=59,29 \text{ Ом};$$

$$R_{ПВ1} = R_{ПВ2} = R_{ПВ3} = R_{ПВ4} = R_{ПВ5}=10,05 \text{ Ом}.$$

Активний та реактивний опори кабельної лінії ВЕС-ЕЧЕ-16 приведені до розрахункової напруги :

$$R_{Л1} = R_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\text{розр}}^2}{U_{\text{номсн}}^2}, \quad (2.11)$$

$$X_{Л1} = X_0 \cdot L \cdot \frac{U_{\text{розр}}^2}{U_{\text{номсн}}^2}, \quad (2.12)$$

де R_0 , X_0 – погонні активний та реактивний опори лінії. Зокрема згідно з [13]

$R_0 = 0,041$ Ом/км; $X_0=0,026$ Ом/км. Відповідно з виразів (2.11) та (2.12) маємо

$R_{Л1}=0,203$ Ом; $X_{Л1}=0,132$ Ом.

Приводимо значення опорів системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня к.з.

$$R_{\text{сис}27,5} = R_{\text{сист}1} \cdot \frac{U_{\text{розр}}^2}{U_{\text{номвн}}^2}, \quad (2.13)$$

$$X_{\text{сис}27,5} = X_{\text{сист}1} \cdot \frac{U_{\text{розр}}^2}{U_{\text{номвн}}^2}. \quad (2.14)$$

Згідно з (2.13)-(2.14) $R_{\text{сис}27,5}=0,191 \text{ Ом}$; $X_{\text{сис}27,5}=1,542 \text{ Ом}$.

Здійснимо визначення еквівалентних параметрів генератора вітрової електростанції. Його індуктивний опір:

$$X_{\text{ген}} = X_d'' \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{номг}}}, \quad (2.15)$$

де X_d'' – надперехідний індуктивний опір уздовж повздовжньої вісі машини ,

$X_d''=0,125 \text{ Ом}$;

$S_{\text{б}}$ – базова потужність короткого замикання у точці підключення генератора,

$S_{\text{б}}=2000 \text{ МВА}$;

$S_{\text{номг}}$ – номінальна потужність вітрового генератора $S_{\text{номг}}=3,45 \text{ МВА}$.

В результаті маємо $X_{\text{ген}} = 72,46 \text{ Ом}$.

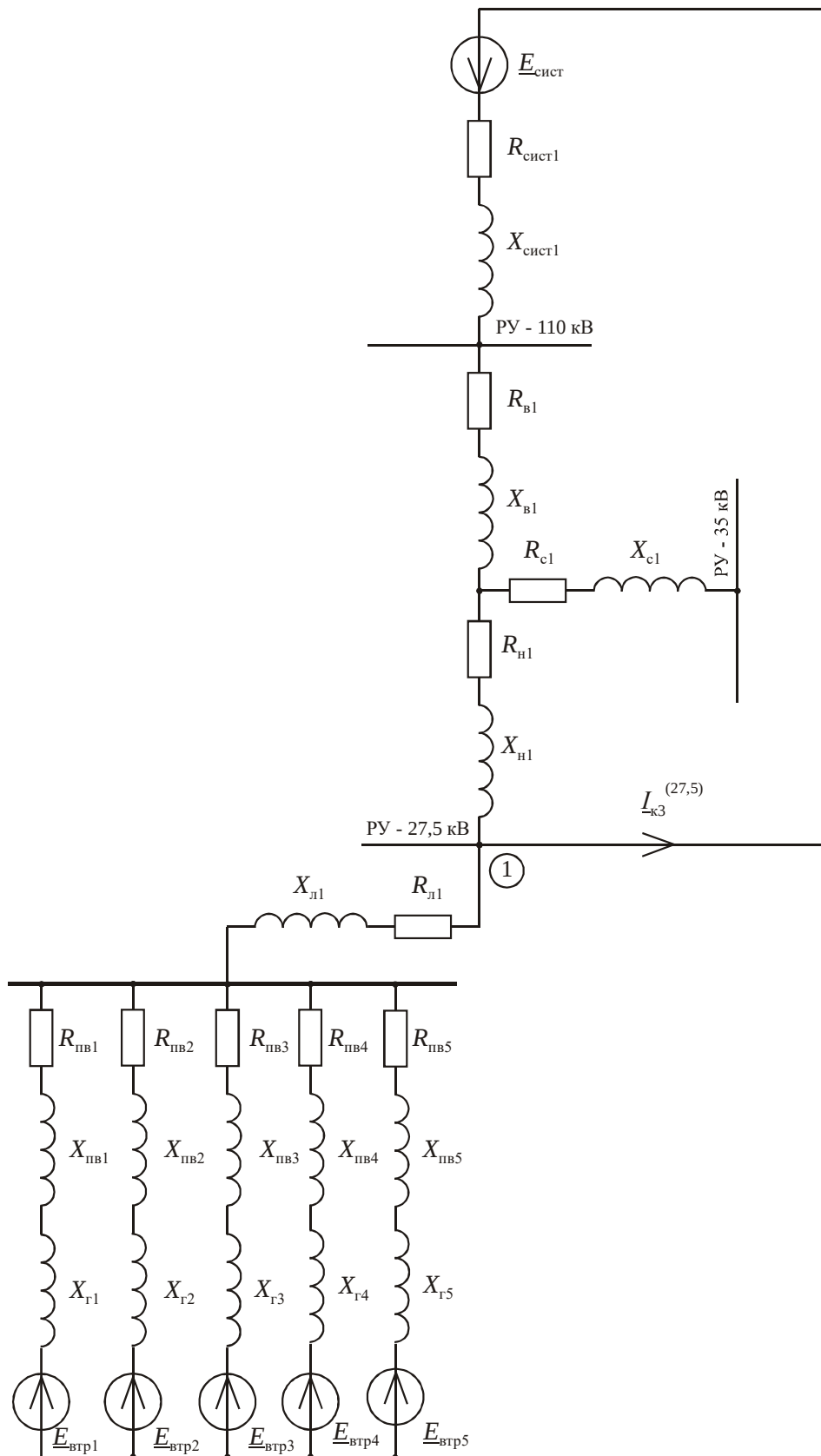


Рис. 2.3. Схема заміщення для розрахунків струму в режимі трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-16 (ВЕС приєднано у точку 1)

Тоді реактивні еквівалентні опори генеруючих блоків ВЕС $X_{Г1} \dots X_{Г5}$ приведені до розрахункової напруги розраховуємо за подібними співвідношеннями:

$$X_{Г1} = X_{ген} \cdot \frac{U_{розр}^2}{U_{НОМВН}^2}. \quad (2.16)$$

Тому $X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = X_{Г4} = X_{Г5} = 45,32 \text{ Ом}$.

Комплексні провідності генеруючих секцій ВЕС:

$$\underline{Y}_{втр1} = \frac{1}{j \cdot X_{Г1} + R_{ПВ1} + j \cdot X_{ПВ1}}, \quad (2.17)$$

$$\underline{Y}_{втр2} = \frac{1}{j \cdot X_{Г2} + R_{ПВ2} + j \cdot X_{ПВ2}}, \quad (2.18)$$

$$\underline{Y}_{втр3} = \frac{1}{j \cdot X_{Г3} + R_{ПВ3} + j \cdot X_{ПВ3}}. \quad (2.19)$$

$$\underline{Y}_{втр4} = \frac{1}{j \cdot X_{Г4} + R_{ПВ4} + j \cdot X_{ПВ4}}, \quad (2.20)$$

$$\underline{Y}_{втр5} = \frac{1}{j \cdot X_{Г5} + R_{ПВ5} + j \cdot X_{ПВ5}}. \quad (2.21)$$

Підставляючи величини у формули (2.17)-(2.21), отримаємо

$$\underline{Y}_{втр1} = \underline{Y}_{втр2} = \underline{Y}_{втр3} = \underline{Y}_{втр4} = \underline{Y}_{втр5} = 3,047 \cdot 10^{-3} - j \cdot 0,111 = 0,111 \cdot e^{-j \cdot 88,43^\circ} \text{ См.}$$

Враховуючи, що комплексна фазна електрорушійна сила (е.р.с.) генеруючої секції ВЕС дорівнює:

$$\underline{E}_{втр1} = \frac{U_{розр}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}, \quad (2.22)$$

тоді еквівалентна комплексна е.р.с. усієї ВЕС:

$$\underline{E}_{вес1} = \frac{\underline{E}_{втр1} \cdot \underline{Y}_{втр1} + \underline{E}_{втр2} \cdot \underline{Y}_{втр2} + \underline{E}_{втр3} \cdot \underline{Y}_{втр3} + \underline{E}_{втр4} \cdot \underline{Y}_{втр4} + \underline{E}_{втр5} \cdot \underline{Y}_{втр5}}{\underline{Y}_{втр1} + \underline{Y}_{втр2} + \underline{Y}_{втр3} + \underline{Y}_{втр4} + \underline{Y}_{втр5}}, \quad (2.23)$$

а комплексний вхідний опір підсистеми «ВЕС-кабельна лінія до ЕЧЕ-16»:

$$\underline{Z}_{вес1} = R_{Л1} + j \cdot X_{Л1} + \frac{1}{\underline{Y}_{втр1} + \underline{Y}_{втр2} + \underline{Y}_{втр3} + \underline{Y}_{втр4} + \underline{Y}_{втр5}}. \quad (2.24)$$

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

Зі співвідношень (2.23) та (2.24) з урахуванням (2.22)

$$\underline{E}_{\text{вес1}} = 16,57 + j \cdot 0 = 16,57 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ}; \quad \underline{Z}_{\text{вес1}} = 2,213 + j \cdot 21,05 = 21,17 \cdot e^{j \cdot 84^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексний опір системи зовнішнього електропостачання до точки к.з.

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = R_{\text{сис27,5}} + j \cdot X_{\text{сис27,5}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}} + R_{\text{н1}} + j \cdot X_{\text{н1}}. \quad (2.25)$$

$$\text{Обчислюючи за (2.25) маємо: } \underline{Z}_{\text{зовн}} = 0,119 + j \cdot 1,06 = 1,067 \cdot e^{j \cdot 83,62^\circ} \text{ Ом.}$$

З урахуванням зроблених розрахунків еквівалентний опір кола рис. 2.2 у режимі к.з.

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \underline{Z}_{\text{вес1}}}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \underline{Z}_{\text{вес1}}}, \quad (2.26)$$

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = 0,249 + j \cdot 3,09 = 3,1 \cdot e^{j \cdot 85,39^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексна е.р.с. обумовлена системою зовнішнього електропостачання:

$$\underline{E}_{\text{сист}} = \frac{U_{\text{розр}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}, \quad (2.27)$$

$$\underline{E}_{\text{сист}} = 6,351 + j \cdot 0 = 6,351 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Еквівалентна комплексна е.р.с., яка викликає струм к.з.

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.28)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = 28,7 + j \cdot 0 = 28,7 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Комплексний струм трифазного короткого замикання на шинах РУ-27,5 кВ

$$\underline{I}_{\text{к27,5}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{екв}}}{\underline{Z}_{\text{екв}}}, \quad (2.29)$$

$$\underline{I}_{\text{к27,5}}^{(3)} = 429,7 - j \cdot 5323 = 5345 \cdot e^{-j \cdot 85,39^\circ} \text{ А.}$$

Далі визначимо струм трифазного к.з. на шинах РУ-27.5 кВ, який викликано впливом е.р.с. системи зовнішнього електропостачання у випадку відсутності інтегрованої ВЕС:

$$\underline{I}_{к27,5\text{зовн}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{сист}}}{R_{\text{сис}27,5} + j \cdot X_{\text{сис}27,5} + R_{\text{В1}} + j \cdot X_{\text{В1}} + R_{\text{Н1}} + j \cdot X_{\text{Н1}}}, \quad (2.30)$$

$$\underline{I}_{к27,5\text{зовн}}^{(3)} = 347,9 - j \cdot 4549 = 4562 \cdot e^{-j \cdot 85,63^\circ} \text{ А},$$

Описані вище вирази дозволяють провести дослідження впливу зростання потужності інтегрованої ВЕС на величини струмів короткого замикання на шинах тягової підстанції, через яку здійснюється транзит генерованої електроенергії до енергосистеми. Передбачається виконувати обчислення для ситуації поступового приєднання до ЕЧЕ-16 вітрових електростанцій за структурою та потужністю однотипних розглянутої вище ВЕС. Однотипною є також з'єднуюча високовольтна кабельна лінія між окремою чергою ВЕС та тяговою підстанцією. Загальна сумарна активна потужність приєднаних ВЕС при цьому змінюватиметься у межах від $P_{\text{номвес}} = 15 \text{ МВт}$ до 480 МВт. Розрахунки виконано згідно з виразами (2.1)-(2.30). При цьому (2.26), (2.28) виглядатимуть наступним чином:

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}}, \quad (2.31)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.32)$$

де n – кількість уніфікованих інтегрованих ВЕС.

Результати обчислень по вищеописаній методиці для двох варіантів живлення від системи зовнішнього електропостачання (по лінії Л124 через Т1 або по лінії Л125 через Т2) наведено у табл. 2.3.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

Таблиця 2.3 – Залежність величини струму трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ від потужності приєднаної ВЕС до шин тягової розподільчої установки (точка 1)

Живляча лінія	Потужність ВЕС, МВт	0	15	30	60	120	240	480
Л124	$I_{к27,5}^{(3)}$	4562	5345	6127	7692	10820	17080	29600
Л125	$I_{к27,5}^{(3)}$	4895	5677	6460	8025	11150	17420	29940

Графічна інтерпретація даних табл. 2.3 (рис. 2.4) дає змогу зрозуміти, що при збільшенні потужності ВЕС струми трифазного короткого замикання в РУ-27,5 кВ зростають лінійно. У разі здійснення живлення тягової підстанції від системи зовнішнього електропостачання по лінії Л125 «Рівне» їх значення завжди будуть вищі, ніж у випадку живлення по лінії Л124 «Радзивілів» за умови тієї ж самої потужності приєднаної у точку 1 ВЕС.

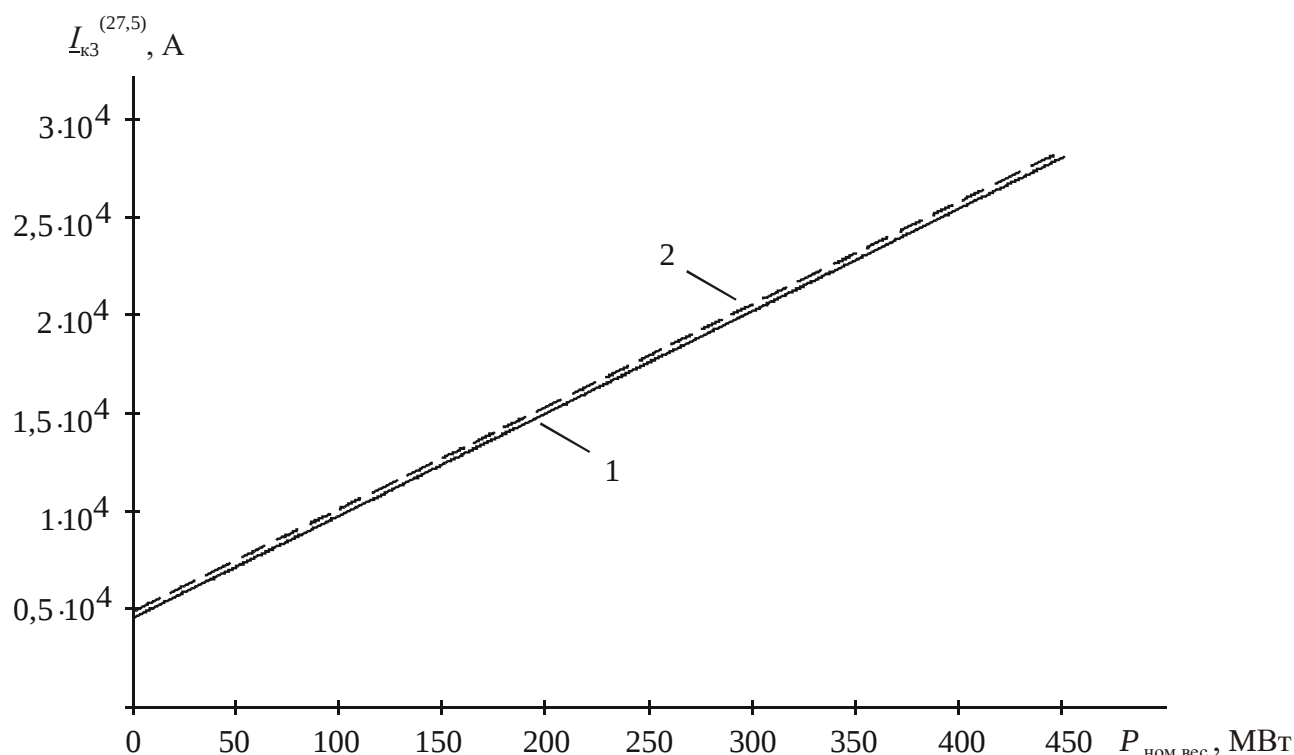


Рис. 2.4. Залежності діючих значень струмів трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ від потужності приєднаної до шин тягової розподільчої установки ВЕС 1 – живлення ЕЧЕ-16 по лінії Л124; 2 – живлення ЕЧЕ-16 по лінії Л125

2.3 Струми короткого замикання при приєднанні ВЕС до РУ-35 кВ

У цьому підрозділі описано розрахунки струмів короткого замикання у разі приєднання ВЕС у точку 2 (РУ-35 кВ). Методику проведення досліджень на основі математичного моделювання описано у попередньому підрозділі. Особливості містяться, по-перше, у конфігурації розрахункових схем заміщення (рис. 2.5 та рис. 2.7). По-друге, у даному підрозділі передбачено визначення струмів трифазного к.з. не тільки на шинах тягового розподільного пристрою 27,5 кВ але й безпосередньо у точці приєднання ВЕС (точка 2, РУ-35 кВ).

Отже спочатку з метою розрахунку струмів к.з. в РУ-35 кВ параметри схеми заміщення рис. 2.5 мають бути приведені до розрахункової напруги $U_{\text{розр}} = 40,17 \text{ кВ}$.

Отже реактивні опори обмоток ГЗТ Т1 за формулами (2.4)-(2.6) матимуть наступні значення $X_{\text{В1}} = 4,295 \text{ Ом}$; $X_{\text{С1}} = 2,645 \text{ Ом}$; $X_{\text{Н1}} = -0,22 \text{ Ом}$.

Активний опір пари обмоток ГЗТ на підставі його паспортних даних по виразу (2.7) становитиме $R_{\text{Т1}} = 0,166 \text{ Ом}$. Знов виходячи з того, що усі обмотки трансформатора розраховано на однакову потужність, за виразом (2.8) маємо $R_{\text{В1}} = R_{\text{С1}} = R_{\text{Н1}} = 0,083 \text{ Ом}$.

Аналогічним шляхом обчислюємо параметри підвищуючого трансформатора кожної з чотирьох однотипних генеруючих секцій ВЕС за виразами (2.9) та (2.10): $X_{\text{ПВ1}} = X_{\text{ПВ2}} = X_{\text{ПВ3}} = X_{\text{ПВ4}} = X_{\text{ПВ5}} = 40,99 \text{ Ом}$; $R_{\text{ПВ1}} = R_{\text{ПВ2}} = R_{\text{ПВ3}} = R_{\text{ПВ4}} = R_{\text{ПВ5}} = 3,286 \text{ Ом}$.

Активний та реактивний опори кабельної лінії ВЕС-ЕЧЕ-16 приведені до розрахункової напруги згідно (2.11) та (2.12) $R_{\text{Л1}} = 1,245 \text{ Ом}$; $X_{\text{Л1}} = 2,07 \text{ Ом}$.

Результати приведення значень опорів системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня к.з. за співвідношеннями подібними формулам (2.13) та (2.14): $R_{\text{сис35}} = 0,374 \text{ Ом}$; $X_{\text{сис35}} = 3,022 \text{ Ом}$.

Далі на підставі виразів (2.15) та (2.16) знаходимо: $X_{\text{Г1}} = X_{\text{Г2}} = X_{\text{Г3}} = X_{\text{Г4}} = X_{\text{Г5}} = 88,83 \text{ Ом}$.

$$(2.17)-(2.20): \underline{Y}_{\text{BTP}1} = \underline{Y}_{\text{BTP}2} = \underline{Y}_{\text{BTP}3} =$$

$$= \underline{Y}_{\text{БТР4}} = \underline{Y}_{\text{БТР5}} = 1,948 \cdot 10^{-4} - j \cdot 7,698 \cdot 10^{-3} = 7,701 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j88,55^\circ} \text{ C.M.}$$

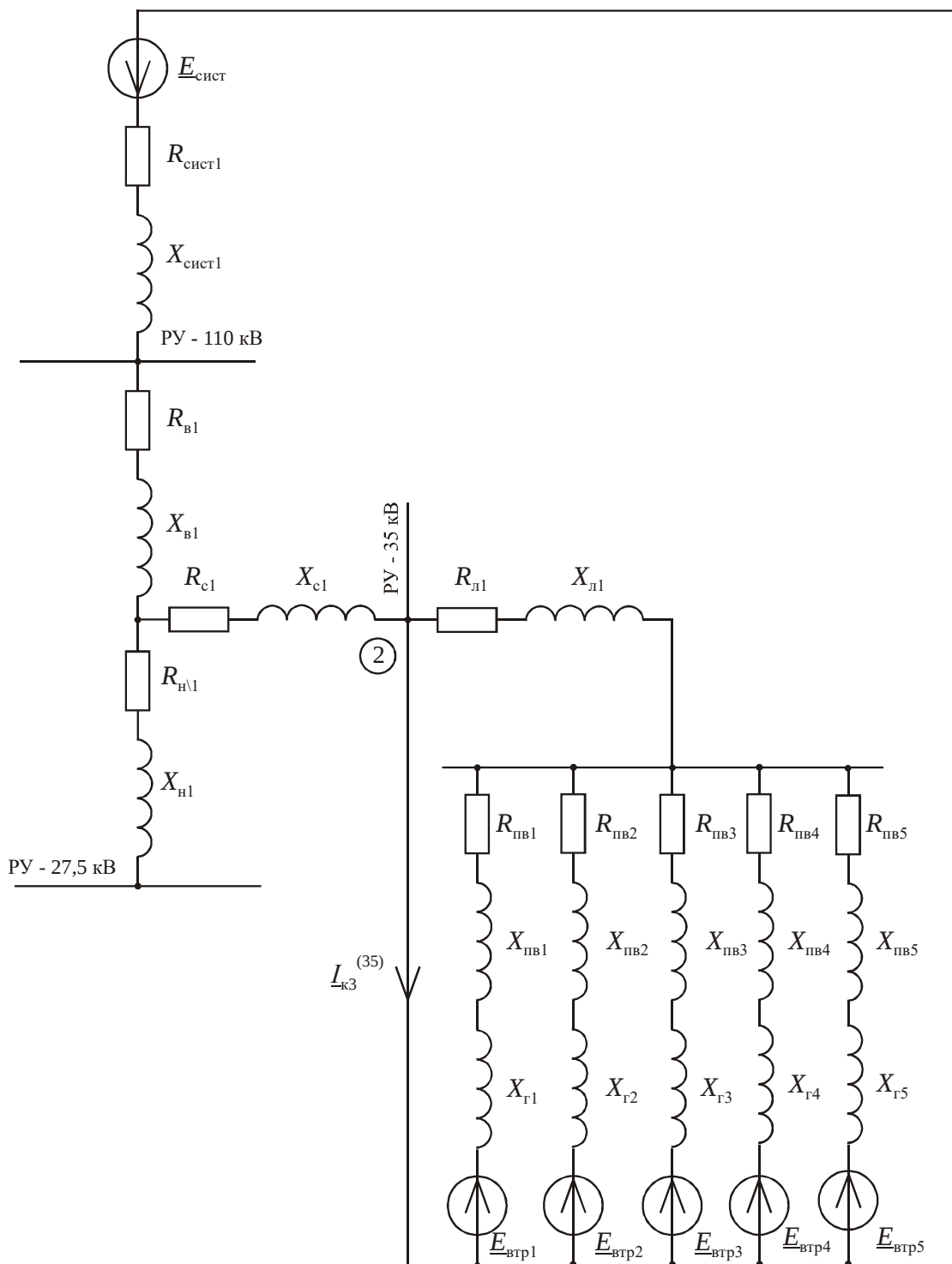


Рис. 2.5. Схема заміщення для розрахунків струму в режимі трифазного к.з. на шинах РУ-35 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-16 (ВЕС приєднано у точку 2)

Тоді еквівалентна комплексна е.р.с. вітрової електростанції по виразах (2.22) та (2.23) дорівнює $\underline{E}_{\text{вес1}} = 23,194 + j \cdot 0 = 23,194 \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$ кВ; а комплексний опір струмам трифазного короткого замикання підсистеми «ВЕС- кабельна лінія до

ЕЧЕ-16» за виразом (2.24): $\underline{Z}_{\text{вес1}} = 1,999 + j \cdot 29,596 = 29,664 \cdot e^{j \cdot 86,14^\circ}$ Ом.

Комплексний опір системи зовнішнього електропостачання до точки к.з.

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = R_{\text{сис35}} + j \cdot X_{\text{сис35}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}. \quad (2.33)$$

Здійснюючи розрахунки згідно (2.33), запишемо :

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = 0,569 + j \cdot 9,962 = 9,978 \cdot e^{j \cdot 86,73^\circ} \text{ Ом.}$$

З урахуванням виконаних вище розрахунків еквівалентний опір кола рис. 2.5 струму трифазного к.з.

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \underline{Z}_{\text{вес1}}}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \underline{Z}_{\text{вес1}}}, \quad (2.34)$$

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = 0,441 + j \cdot 7,35 = 7,363 \cdot e^{j \cdot 86,57^\circ} \text{ Ом.}$$

Приведена комплексна е.р.с. системи зовнішнього електропостачання по (2.27):

$$\underline{E}_{\text{сист}} = 23,222 + j \cdot 0 = 23,222 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Еквівалентна комплексна е.р.с., яка викликає струм трифазного к.з., з урахуванням виразу :

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.35)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = 23,194 + j \cdot 0 = 23,194 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Комплексна величина струму трифазного к.з. на шинах РУ-35 кВ:

$$\underline{I}_{\text{к35}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{екв}}}{\underline{Z}_{\text{екв}}}, \quad (2.36)$$

$$\underline{I}_{\kappa 35}^{(3)} = 188,45 - j \cdot 3144 = 3150 \cdot e^{-j \cdot 86,57^\circ} \text{ А.}$$

Струм трифазного к.з. на шинах РУ-35 кВ від дії е.р.с. системи зовнішнього електропостачання за умови відсутності приєднаної ВЕС:

$$\underline{I}_{\kappa 35 \text{ зовн}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{сист}}}{R_{\text{сис}35} + j \cdot X_{\text{сис}35} + R_{\text{в}1} + j \cdot X_{\text{в}1} + R_{\text{с}1} + j \cdot X_{\text{с}1}}, \quad (2.37)$$

$$\underline{I}_{\kappa 35 \text{ зовн}}^{(3)} = 132,6 - j \cdot 2321 = 2325 \cdot e^{-j \cdot 86,73^\circ} \text{ А.}$$

Подібно проведеному у попередньому підрозділі дослідженню, з'ясуємо вплив збільшення потужності приєднаної ВЕС на величину струму короткого замикання на шинах РУ-35 кВ тягової підстанції, через яку здійснюється передача генерованої електроенергії до споживачів. Потужність приєднаних ВЕС при цьому як і раніше змінюватиметься у межах від $P_{\text{номвес}} = 15 \text{ МВт}$ до 480 МВт. Розрахунок проводимо по формулам, наведеним в даному підрозділі раніше, проте вирази (2.36), (2.37) виглядатимуть наступним чином:

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\text{вес}1}}{n}}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \frac{\underline{Z}_{\text{вес}1}}{n}}, \quad (2.38)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес}1} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес}1}}{n}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес}1}}{n}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.39)$$

де n – кількість однотипних приєднаних ВЕС.

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.4.

З графіків представлених на рис 2.7 можна зробити висновок, що, по-перше, при розглянутому варіанті приєднання ВЕС струми трифазного к.з. практично не залежать від того, по якому з двох вводів отримує живлення тягова підстанція від системи зовнішнього електропостачання, а також знов, як і на рис. 2.4, прослідковується лінійна залежність між діючим значенням струму трифазного к.з. та потужністю приєднаної ВЕС.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

Таблиця 2.4 – Залежність величини струму трифазного к.з. на шинах РУ-35 кВ від потужності приєднаної ВЕС до шин 35 кВ (точка 2)

Живляча лінія	Потужність ВЕС, МВт	0	15	30	60	120	240	480
Л124	$I_{к35}^{(3)}$	2325	3150	3975	5626	8928	15530	28740
Л125	$I_{к35}^{(3)}$	2456	3282	4107	5758	9059	15660	28870

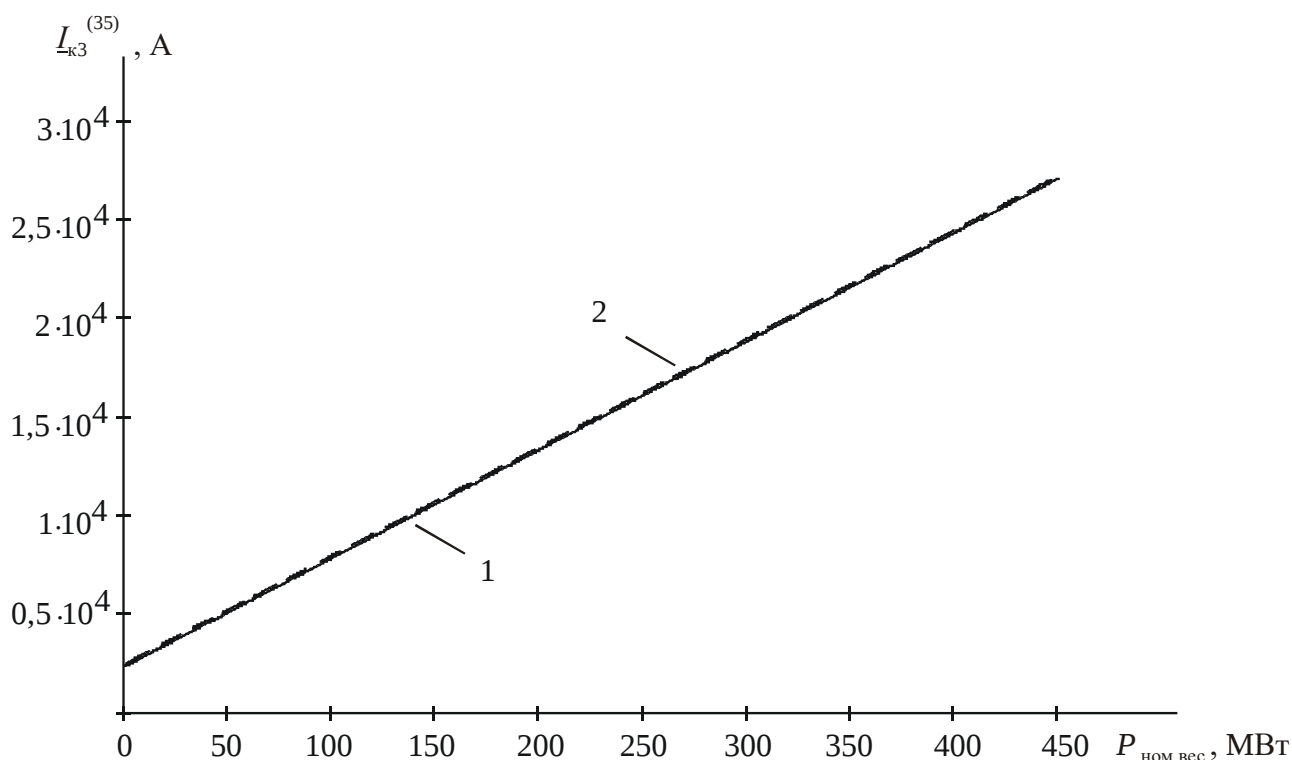


Рис. 2.6. Залежності діючих значень струмів трифазного к.з. на шинах РУ-35 кВ від потужності приєднаної до шин 35 кВ ВЕС 1 – живлення ЕЧЕ-16 по лінії Л124; 2 – живлення ЕЧЕ-16 по лінії Л125

Далі наведемо схему заміщення (рис. 2.7), розрахункові параметри та результати обчислень струмів трифазного короткого замикання на шинах РУ-27,5 кВ у випадку підключення ВЕС до шин РУ-35 кВ. Методику такого розрахунку представлено у підрозділі 2.1.

Реактивні опори обмоток ГЗТ Т1 за формулами (2.4)-(2.6) в даному випадку мають наступні значення $X_{в1} = 2,191$ Ом; $X_{с1} = 1,349$ Ом; $X_{н1} = -0,112$ Ом.

Активний опір пари обмоток ГЗТ на підставі його паспортних даних по виразу (2.7) складає $R_{T1}=0,084$ Ом. Зважаючи на те, що усі обмотки трансформатора розраховано на однакову потужність, за виразом (2.8) маємо $R_{B1} = R_{C1} = R_{H1}=0,042$ Ом.

Параметри підвищуючого трансформатора кожної з однотипних генеруючих секцій ВЕС за виразами (2.9) та (2.10):

$$X_{ПВ1} = X_{ПВ2} = X_{ПВ3} = X_{ПВ4} = X_{ПВ5}=20,91 \text{ Ом};$$

$$R_{ПВ1} = R_{ПВ2} = R_{ПВ3} = R_{ПВ4} = R_{ПВ5}=1,676 \text{ Ом}.$$

Опори високовольтної кабельної лінії ВЕС-ЕЧЕ-16 приведені до розрахункової напруги згідно (2.11) та (2.12) $R_{Л1}=0,635$ Ом; $X_{Л1}=1,056$ Ом.

Приводимо значення опорів системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня к.з. за співвідношеннями подібними формулам (2.13) та (2.14): $R_{СИС27}=0,191$ Ом; $X_{СИС27}=1,542$ Ом.

Після цього користуючись виразами (2.15) та (2.16) знаходимо: $X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = X_{Г4} = X_{Г5} =45,32$ Ом. Отже комплексні провідності генеруючих секцій ВЕС по формулах (2.17) – (2.20):

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{ВТР1} &= \underline{Y}_{ВТР2} = \underline{Y}_{ВТР3} = \\ &= \underline{Y}_{ВТР4} = \underline{Y}_{ВТР5} = 3,819 \cdot 10^{-4} - j \cdot 0,015 = 0,015 \cdot e^{-j \cdot 88,55^{\circ}} \text{ См.} \end{aligned}$$

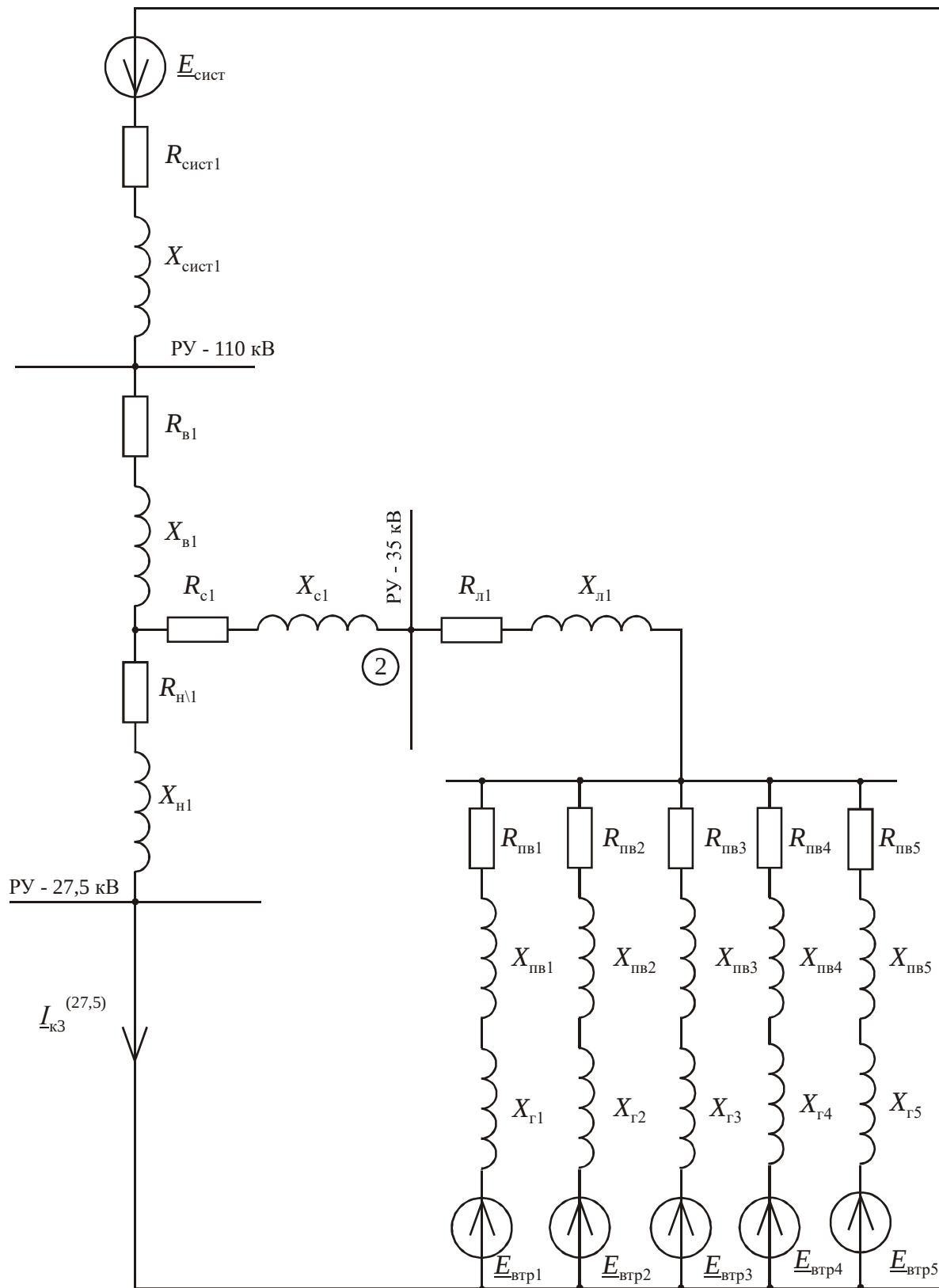


Рис. 2.7. Схема заміщення для розрахунків струму в режимі трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-16 (ВЕС приєднано у точку 2)

Еквівалентна комплексна е.р.с. вітрової електростанції по виразах (2.22) та (2.23) дорівнює $\underline{E}_{\text{вес1}} = 16,567 + j \cdot 0 = 16,567 \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$ кВ; а комплексний опір струмам трифазного короткого замикання підсистеми «ВЕС-кабельна лінія до ЕЧЕ-16» за виразом (2.24): $\underline{Z}_{\text{вес1}} = 1,999 + j \cdot 29,596 = 29,664 \cdot e^{j \cdot 86,14^\circ}$ Ом.

Комплексний опір системи зовнішнього електропостачання до точки к.з.

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = R_{\text{сис27,5}} + j \cdot X_{\text{сис27,5}} + R_{\text{В1}} + j \cdot X_{\text{В1}}. \quad (2.40)$$

За результатами розрахунку по (2.40) маємо

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = 0,248 + j \cdot 3,733 = 3,741 \cdot e^{j \cdot 86,2^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексний еквівалентний опір кола рис.2.7 струму трифазного к.з.

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = R_{\text{Н1}} + j \cdot X_{\text{Н1}} + \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot (\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}})}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}}, \quad (2.41)$$

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = 0,228 + j \cdot 2,9 = 2,911 \cdot e^{j \cdot 85,5^\circ} \text{ Ом.}$$

Приводячи комплексну е.р.с. системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня к.з. у відповідності з (2.27) маємо:

$$\underline{E}_{\text{сист}} = 16,587 + j \cdot 0 = 16,587 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Еквівалентна комплексна е.р.с., що обумовлює струм трифазного к.з.:

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.42)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = 16,66 + j \cdot 0 = 16,66 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Комплексна величина струму трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ за виразом (2.29)

$$\underline{I}_{\text{к27,5}}^{(3)} = 446,23 - j \cdot 5674 = 5691 \cdot e^{-j \cdot 85,3^\circ} \text{ А.}$$

Струм трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ утворений е.р.с. системи зовнішнього електропостачання за умови відсутності інтегрованої ВЕС згідно з

$$(2.30) \quad I_{к27,5\text{зовн}}^{(3)} = 347,9 - j \cdot 4549 = 4562 \cdot e^{-j \cdot 85,6^\circ} \text{ А.}$$

Дослідження впливу збільшення потужності приєднаної ВЕС на величину струму короткого замикання на шинах РУ-27,5 кВ тягової підстанції Дубно для випадку приєднання ВЕС здійснюємо за методикою підрозділу 2.1 але вирази (2.36), (2.37) будуть змінені на наступні:

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = R_{\text{н1}} + j \cdot X_{\text{н1}} + \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \left(\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} \right)}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}}, \quad (2.43)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}. \quad (2.44)$$

Результати розрахунків показано у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Залежність величини струму трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ від потужності приєднаної ВЕС до шин 35 кВ (точка 2)

Живляча лінія	Потужність ВЕС, МВт	0	15	30	60	120	240	480
Л124	$I_{к27,5}^{(3)}$	4562	5691	6655	8210	10370	12810	15000
Л125	$I_{к27,5}^{(3)}$	4895	6026	6992	8556	10730	13200	15430

Залежності показані на рис 2.8 на відміну від інших кривих (рис. 2.4 та рис. 2.6) мають суттєво нелінійну залежність у разі приєднання ВЕС потужністю більшою за 100 МВт проте тенденція перевищення струму к.з. при живленні ЕЧЕ-16 по лінії Л125 «Рівне» зберігається як і у результатах наведених раніше досліджень.

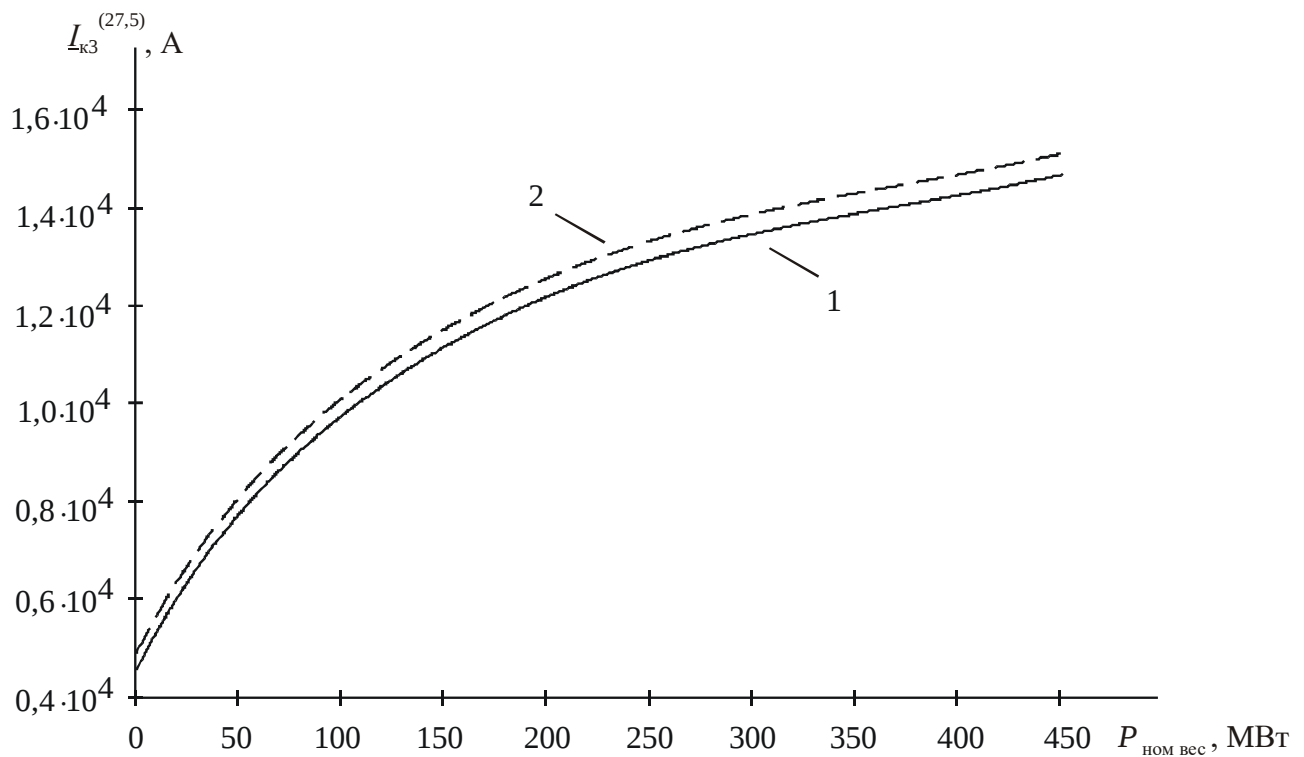


Рис. 2.8. Залежності діючих значень струмів трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ від потужності приєднаної до шин 35 кВ ВЕС 1 – живлення ЕЧЕ-16 по лінії Л124; 2 – живлення ЕЧЕ-16 по лінії Л125

2.4 Висновки до розділу 2

Виконані у розділі 2 дослідження дозволяють сформулювати такі висновки.

1 Розроблені у розділі схеми заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція системи тяги змінного струму-ВЕС» (рис. 2.3, рис. 2.5 та рис. 2.7) повністю придатні для вирішення задач щодо передбачення вплив зростання струмів трифазного к.з. на шинах тягової підстанції внаслідок збільшення потужності приєднаної ВЕС. Описана методика розробки таких схем може в подальшому бути розповсюджена на випадки різних рівнів напруги на лініях, від яких отримує живлення тягова підстанція від системи зовнішнього електропостачання, а також на інтегровані ВЕС з обладнанням різних типів.

2. Встановлено, що серед кола розглянутих варіантів при будь-якій потужності та при будь-якому варіанті підключення ВЕС, діючі значення струмів трифазного короткого замикання на шинах розподільчих установок

тягової підстанції ЕЧЕ-16 завжди будуть більшими у разі живлення підстанції від системи зовнішнього електропостачання по лінії Л125 «Рівне» порівняно з випадком живлення по лінії Л124 «Радзівілів», відповідно перший зі згаданих режимів є лімітуючим.

3. Аналізуючи знайдені залежності рис. 2.4, рис. 2.6 та рис. 2.8 можна зробити обґрунтовані припущення на рахунок того, що характер залежності струму короткого замикання на шинах розподільчої установки від потужності інтегрованої ВЕС буде близьким до лінійного у разі підключення ВЕС саме до згаданих шин, у іншому разі така залежність матиме нелінійний характер. Також по отриманих залежностях бачимо, що у діапазоні потужностей приєднаної ВЕС до 120 МВт струми трифазного к.з. у тяговій розподільчій установці будуть більшими при приєднанні ВЕС до шин 35 кВ, а при більших потужностях – у разі приєднання до шин 27,5 кВ через прояв нелінійності залежностей рис. 2.8.

4. Розглядаючи отримані абсолютні значення струмів трифазного к.з. у розподільчих установках тягової підстанції при різних потужностях інтегрованої ВЕС можна стверджувати, що відключаючої спроможності навіть застарілих елегазових вимикачів типу ВЕО-27,5-1000-16 з номінальним струмом відключення 16 кА [13] буде достатньо для захисту електроустановки від коротких замикань при приєднаній потужності ВЕС у точку 1 до 200 МВт, а у точку 2 - до 480 МВт. В той же час враховуючи значення максимального струму відключення захисного вимикача ВМК -35 Б у 6,6 кА обмеження щодо величини підключеної потужності ВЕС по фактору зростання струмів трифазного к.з. настають при її значеннях більших за 60 МВт. Наведені вище міркування свідчать, що з практичної точки зору можлива потужність інтегрованої до ЕЧЕ-16 ВЕС у разі використання точок підключення 1 або 2 обмежена не фактором зростання струмів к.з. а встановленою потужністю головних знижувальних трансформаторів (40 МВА) і знаходиться у межах до 30 МВт.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Обсяг та зміст даного розділу визначено з урахуванням рекомендацій викладених у [13] а також вимог чинних нормативних документів [14-16].

3.1 Вимоги безпеки праці під час виконання робіт на кабельних лініях

3.1.1 Земляні роботи

Всі земляні роботи, які виконуються під час розробки ґрунтів в траншеях, котлованах і приямках, провадяться відповідно до вимог СНиП-III-4-80 (розділ 9) а також [14].

Перед риттям траншей чи котлованів для кабелів необхідно заздалегідь отримати письмовий дозвіл на виконання робіт від підприємства, організації, цеху, на території яких передбачається провадити земляні роботи, і вказівки про точне місце перебування наявних споруд: газових, водопровідних, зв'язку та інших комунікацій.

В разі проведення земляних робіт поблизу цих споруд і в охоронній зоні комунікацій необхідно виконувати умови робіт, вказані підприємствами – власниками комунікацій.

Не допускається проведення розкопувань землерийними машинами на відстані меншій ніж 1 м і використання клина – молота та аналогічних ударних механізмів на відстані меншій ніж 5 м від кабелів.

Під час виконання земляних робіт над кабелями застосування відбійних молотів для розпушування ґрунту і землерийних машин для його виймання, а також ломів і кирок допускається тільки на глибину, на якій до кабелів залишається шар ґрунту, не менший 0,3м.

Подальше виймання ґрунту має проводитись лопатами.

Перед початком роботи під наглядом представника організації, що експлуатує кабелі, керівником робіт, що виконує земляні роботи, має бути проведене контрольне розкриття ґрунту для уточнення розташування і глибини

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

прокладання кабелів і встановлена тимчасова огорожа для визначення межі роботи землерийних механізмів.

В зимовий час виймання ґрунту лопатами можна розпочинати тільки після його відігрівання. В цьому разі наближення джерела тепла до кабелів допускається не ближче ніж на 15 см.

У разі виявлення під час проведення земляних робіт не зазначених на планах і схемах кабелів, трубопроводів, підземних споруд тощо, необхідно призупинити роботи до з'ясування характеру виявлених споруд або предметів та отримання відповідного дозволу і довести це до відома керівника робіт.

За появи шкідливих газів роботи мають бути негайно припинені, а робітники виведені з небезпечних місць до виявлення джерела загазування і його усунення. Подальше проведення земляних робіт за появи шкідливих газів допустиме лише за наявності індикаторів для визначення газу і забезпеченні працівників протигазами. Працівники мають бути проінструктовані про порядок виконання робіт в таких умовах.

Під час копання траншей в слабкому або вологому ґрунті, коли є загроза обвалу, їх стінки мають бути надійно укріплені.

В сипучих ґрунтах роботи можна вести без укріплення, але з укосами, що відповідають куту природного укосу ґрунту.

В ґрунтах природної вологості за відсутності ґрунтових вод і розташованих поблизу підземних споруд копання котлованів і траншей з вертикальними стінками без укріплення дозволяється на глибину не більшу ніж:

- 1 м – в насипних, піщаних і гравійних ґрунтах;
- 1,25 м – в супісках;
- 1,5 м – в суглинках і глинах;
- 2 м – в особливо щільних і нескельних ґрунтах.

В щільних зв'язних ґрунтах траншеї з вертикальними стінками копати роторними і траншейними екскаваторами без встановлення укріплення допускається на глибину не більшу ніж 3 м.

В цих випадках спускання людей в траншеї забороняється. В місцях траншеї, де необхідне перебування людей, мають бути влаштовані укріплення або виконані укоси.

Взимку розробка ґрунту (крім сухого) на глибину промерзання допускається без укріплення. За умов, що відрізняються від наведених вище, котловани і траншеї розробляються з укосами без укріплення або з вертикальними стінками, закріпленими на всю висоту

Найбільша крутість укосів котлованів і траншей, які розробляються без укріплення на глибину, що перевищує згадану вище, зазначена в табл. 3.1 [14].

Вертикальні стінки котлованів і траншей глибиною до 3м укріплюються відповідно до вимог, зазначених в табл. 3.2 [14].

Укріплення котлованів і траншей глибиною до 3 м має бути інвентарним і виконуватися за типовими проектами.

Доцані кріплення котлованів і траншей розбираються у напрямку знизу вгору в міру зворотного засипання ґрунту.

Кількість дощок кріплення, що одночасно вилучається по висоті, має бути не більшою трьох, а в сипучих і нестійких ґрунтах – не більше однієї. В міру вилучення дощок розпірки переставляються, в цьому разі існуючі розпірки вилучаються тільки після встановлення нових.

Таблиця 3.1 - Найбільша допустима крутість укосів котлованів і траншей

Ґрунт	Глибина виймання, м			
	до 1,5		від 1,5 – до 3,0	
	Кут між напрямом відкосу і горизонталлю, градус	Відношення висоти відкосу до його основи	Кут між напрямом відкосу і горизонталлю, градус	Відношення висоти відкосу до його основи
Насипний природної вологості	76	1 : 0,67	45	1 : 1
Піщаний і гравійний вологий (ненасипний)	63	1 : 0,5	45	1 : 1
Глинястий:				
супісок	76	1 : 0,25	56	1 : 0,67
суглинок	90	1 : 0	63	1 : 0,5
глина	90	1 : 0	76	1 : 0,25

Лісовидний сухий	90	1 : 0	63	1 : 0,5
------------------	----	-------	----	---------

Таблиця 3.2 – Вимоги щодо укріплення стінок траншей глибиною до 3м

Ґрунтові умови	Глибина траншеї, м	Щити
Ґрунти зв'язні природної вологості за відсутності або незначного припливу ґрунтових вод	До 3	3 просвітами
Такі ж самі	3-5	Суцільні
Ґрунти піщані та різні підвищеної вологості	Незалежно від глибини	—“—

Примітка. В разі сильного припливу ґрунтових вод і можливого винесенні ґрунту застосовується шпунтове огородження.

Під час копання ям, траншей та котлованів будівельні матеріали і земля, що викидається з траншей та котлованів, по можливості розміщуються в межах огороженого місця або осторонь від нього, але так, щоб не заважати рухові транспорту і пішоходів.

Місце проведення робіт в разі копання котлованів, траншей або ям огорожується зі встановленням попереджувальних написів і знаків, а у нічний час на огороженні встановлюється сигнальне освітлення.

Для пішоходів і проїзду транспорту через траншеї перекидаються містки відповідної вантажопідйомності.

3.1.2 Розкриття муфт, розрізання кабелю

Перед розкриттям муфт або розрізанням кабелю необхідно впевнитися в тому, що ці операції будуть провадитися на тому кабелі, на якому потрібно, що цей кабель відключено і вжито технічних заходів, необхідних для допуску до робіт на ньому.

Кабель, що підлягає ремонту, слід визначати:

- в разі прокладання кабелю у тунелі, колекторі, каналі, по стінах будівлі
- простеженням, звіркою розкладки з кресленнями та схемами, перевіркою за бирками;
- в разі прокладання кабелю у землі – звіркою його розташування з кресленнями прокладки.

З цією метою слід заздалегідь викопати контрольну траншею упоперек пучка кабелів, яка б дозволяла бачити всі кабелі.

В тих випадках, коли немає впевненості у правильності визначення кабелю, що підлягає ремонту, застосовується кабелепошуковий апарат.

На КЛ перед розрізанням кабелю або розкриттям з'єднувальної муфти необхідно перевірити відсутність напруги за допомогою спеціального пристосування, яке складається з ізолювальної штанги і сталюї голки або різального наконечника. Пристосування має забезпечити прокол або розрізування броні і оболонки до жил із замиканням їх між собою і на землю. Кабель у місці проколу заздалегідь прикривається екраном. В тунелях, колекторах і колодязях таке пристосування допускається застосовувати тільки за наявності дистанційного керування.

Якщо внаслідок пошкоджень кабелю відкриті всі струмопровідні жили, то відсутність напруги можна перевірити безпосередньо показником напруги без проколу.

Прокол кабелю виконує керівник робіт або допускач під його наглядом. Проколювати кабель слід в діелектричних рукавичках і користуючись захисними окулярами. Стояти під час проколювання потрібно на ізолювальній основі зверху траншеї, якнайдалі від проколюваного кабелю.

Для заземлення пристосування для проколу використовують спеціальний заземлювач, що заглиблюється в ґрунт на глибину, не меншу 0,5 м, або броня кабелю. Заземлювальний провідник приєднується до броні за допомогою хомутів; бронестрічку під хомутом слід очищувати.

Якщо бронестрічка піддавалася корозії, допускається приєднання заземлювального провідника до металевої оболонки.

Під час робіт на кабельній чотирижильній лінії напругою до 1000 В нульова жила від'єднується з обох кінців.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

3.1.3 Прокладання, перекладання кабелів і перенесення муфт

Під час перекочування барабану з кабелем необхідно вжити заходів проти захоплення його частинами одягу працівників, що виступають. Перед початком перекочування закріплюють кінці кабелю і видаляють цвяхи, які стирчать з барабана. Барабан з кабелем допускається перекочувати тільки по горизонтальній поверхні по твердому ґрунту або міцному настилу. Забороняється розміщувати кабелі, порожні барабани, механізми, пристосування та інструмент ближче ніж за 1 м від краю траншей. Розкочувати кабель з барабанів дозволяється за наявності гальмівного пристосування

Під час ручного прокладання кабелю кількість працівників має бути такою, щоб на кожного припадала ділянка кабелю масою, що не перевищує встановлену норму. Працювати слід у брезентових рукавицях. Під час прокладання кабелю забороняється стояти всередині кутів повороту, а також підтримувати кабель вручну на поворотах траси. З цією метою встановлюються кутові ролики.

Для прогрівання кабелів електричним струмом не допускається застосування напруги понад 380 В.

Перекладати кабелі і переносити муфти можна тільки після відключення кабелю та його заземлення. Перекладання кабелів, що перебувають під напругою, допускається за необхідності із виконанням таких вимог:

- кабель, що перекладається, повинен мати температуру не нижчу за 5 °С;
- муфти на ділянці кабелю, що перекладається, мають бути жорстко закріплені хомутами на дошках;
- працювати слід в діелектричних рукавичках; зверху рукавичок для їх захисту від механічних пошкоджень одягаються брезентові рукавиці;
- роботу повинні виконувати працівники, які мають досвід прокладання кабелів, під керівництвом особи зі складу технічної адміністрації з групою V, під час перекладання кабелів напругою до 1000 В – з групою IV.

3.2 Дії персоналу в надзвичайних ситуаціях: порядок дій у випадку пожежі

3.2.1 Загальні вимоги

Найбільш імовірною та небезпечною надзвичайною ситуацією яка може виникнути у підсистемах електротехнічної системи «ВЕС-тягова підстанція змінного струму» є пожежа. Дії персоналу при виникненні пожеж регламентовано [15].

При виникненні пожежі на енергетичному об'єкті перша особа, яка виявила загорання, зобов'язана негайно повідомити про це телефоном пожежну охорону, начальника зміни станції (диспетчера або чергового підстанції), старшого зміни і приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, дотримуючись при цьому правил техніки безпеки.

У свою чергу начальник зміни станції (диспетчер або черговий підстанції) про виникнення пожежі повинен негайно повідомити пожежну охорону (при цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, наявність людей), а також керівництво енергетичного об'єкта. У разі потреби - викликати інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо).

Старший зміни особисто або за допомогою чергового персоналу зобов'язаний визначити місце осередку вогнища пожежі, можливі шляхи його поширення, загрозу діючому енергообладнанню, яке опинилося в зоні пожежі.

Після визначення місця осередку вогнища пожежі старший зміни зобов'язаний:

- особисто або за допомогою чергового персоналу перевірити ввімкнення автоматичної установки пожежогасіння (при її наявності);
- ужити заходів щодо створення безпечних умов для персоналу і пожежних підрозділів при гасінні пожежі. У випадку загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;

- провести можливі операції на технологічних установках (вимкнення або перемикання на обладнанні, витіснення водню з генератора, зняття напруги з електроустановок, злив масла з маслобака турбогенератора та ін.);

приступити до гасіння пожежі силами й засобами енергетичного об'єкта;

- виділити для зустрічі пожежних підрозділів особу, яка добре знає розташування під'їзних шляхів і водоймищ;

- при потребі – вжити заходів для охолодження водою металевих ферм і колон будівлі від пожежних кранів або стаціонарно встановлених лафетних стволів з дотриманням техніки безпеки.

Вимкнення або перемикання приєднань у зоні пожежі може проводитись за оперативною карткою начальником зміни станції (диспетчером або черговим підстанції) або оперативно-виїзною бригадою (далі - ОВБ) з наступним повідомленням вищого оперативного керівництва (диспетчера) після закінчення операції вимкнення.

До прибуття першого пожежного підрозділу керівником гасіння пожежі (КГП) є старший зміни енергетичного об'єкта (начальник зміни станції, начальник зміни цеху, черговий диспетчер) або керівник об'єкта. КГП зобов'язаний у першу чергу вивести з місця пожежі всіх сторонніх осіб і забезпечити виконання вимог безпеки щодо запобігання ураженню електричним струмом, іншому роду небезпеки осіб, які перебувають поблизу місця пожежі.

Старший начальник пожежної охорони, який прибув на місце пожежі, зобов'язаний негайно зв'язатися зі старшим зміни енергетичного об'єкта, отримати від нього дані про обставини пожежі й письмовий допуск на проведення гасіння пожежі.

Пожежні підрозділи приступають до гасіння пожежі на електроустановках після інструктажу старшим з присутніх технічних працівників або оперативно-виїзної бригади.

Для керівництва гасінням пожежі відповідно до НАПБ 05.027-2000 організовується оперативний штаб пожежогасіння. У склад штабу повинен

входити старший з присутніх інженерно-технічних працівників об'єкта або оперативно-виїзної бригади, який повинен мати на правому рукаві червону розпізнавальну пов'язку з нанесеним знаком електричної напруги.

Під час гасіння пожежі робота пожежних підрозділів (розміщення сил і засобів пожежогасіння, зміна позицій, перехід від одних засобів пожежогасіння до інших тощо) проводиться з урахуванням вказівок старшої особи з присутніх інженерно-технічних працівників енергетичного об'єкта або оперативно-виїзної бригади. У свою чергу старший з присутніх інженерно-технічних працівників або оперативно-виїзної бригади погоджує з КГП свою роботу і розпорядження, а також інформує під час гасіння пожежі про зміни в стані роботи електроустановок та іншого обладнання.

Гасіння пожежі ручними засобами в надзвичайно задимлених приміщеннях енергетичних об'єктів (видимість менше 5 і 10 м при діаметрі sprisku відповідно 13 і 19 мм з проникненням у них без зняття напруги з електроустановок і кабельних ліній не допускається.

Під час гасіння пожежі компактними і розпиленими водяними струменями без зняття напруги з електроустановок ствол повинен бути заземлений, а ствольник працювати в діелектричному взутті, діелектричних рукавицях і перебувати на відстані, не меншій передбаченої в наведеній нижче табл. 3.3 [15].

Таблиця 3.3 – Мінімально допустима відстань від насадки ствола до електроустановок і кабелів

Номінальна напруга, кВ	Мінімально допустима відстань від насадки ствола до електроустановок і кабелів (у метрах), які загорілися, і сусідніх, що не загорілися, при діаметрі sprisku	
	13 мм	19 мм
До 1 включно	3,5	4,0
Понад 1 до 10 включно	4,5	8,0

Застосування морської і сильно забрудненої води не допускається.

Гасіння пожежі в приміщеннях електроустановок, які перебувають під напругою до 10 кВ, усіма видами піни за допомогою ручних засобів забороняється, оскільки піна і розчин піноутворювання мають підвищену електропровідність у порівнянні з розпиленою водою.

При потребі гасіння пожежі повітряно-механічною піною з об'ємним заповненням приміщення (тунелю) піною проводиться попереднє закріплення піногенераторів, їх заземлення, а також заземлення насосів пожежних машин. Водій пожежної машини повинен працювати в діелектричних рукавицях і взутті.

Пристрої для заземлення пожежних стволів, піногенераторів і насосів пожежних машин виготовляються в необхідній кількості енергетичними об'єктами із гнучкого мідного голого проводу перерізом не менше 16 мм². У всіх випадках довжина проводу не обмежується і визначається з необхідності допущення вільного маневрування особи, що працює пожежним стволом.

Місця заземлення пересувної пожежної техніки визначаються спеціалістами енергетичних об'єктів разом з представниками гарнізону пожежної охорони і позначаються знаком заземлення.

Необхідна кількість заземлень, діелектричного взуття, діелектричних рукавиць і місця їх зберігання визначаються керівниками енергетичних об'єктів, виходячи з розрахунку подання вогнегасних засобів на електроустановки, які перебувають під напругою.

Забороняється користуватися вказаними заземлювальними пристроями, діелектричним взуттям і рукавицями, крім випадків пожежі або проведення сумісних з пожежними підрозділами тренувань (навчань) на об'єкті.

Особовому складу пожежних підрозділів категорично забороняється виконувати будь-які вимкнення та інші операції з електротехнічним обладнанням на електростанції і підстанції.

Заходити в розподільні пристрої та інші приміщення електричних пристроїв з метою гасіння пожежі особовий склад пожежних підрозділів має

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

право тільки після отримання допуску та інструктажу персоналу, який обслуговує даний пристрій.

При виникненні пожежі на енергетичному об'єкті без постійного чергового персоналу гасіння пожежі пожежними підрозділами до прибуття виїзної бригади або чергового може проводитись самостійно тільки за попередньо розробленим і погодженим оперативним планом (карточкою). Разом з тим повинні бути вжиті негайні заходи для виклику експлуатаційного персоналу (оперативно-виїзної бригади).

3.2.2 Пожежний інвентар та засоби пожежогасіння наявні на ВЕС

Для забезпечення гасіння пожеж у відповідності до вимог, викладених у [16] на вітрових електростанціях мають бути у наявності:

- вогнегасники:
 - пінні;
 - порошкові; хладонові;
 - вуглекислотні;
- ємності з піском;
- діжки з водою;
- відра пожежні;
- лопати;
- ломи пожежні;
- гаки пожежні;
- сокири пожежні;
- негорючі ковдри;
- щити для пожежного інвентаря.

Типи і кількість пожежного інвентаря та засобів пожежогасіння залежать від кількості ВЕУ та інших споруд ВЕС.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Захист життя та здоров'я працівників об'єктів електроенергетики в нормальному та аварійному режимах роботи забезпечується суворим виконанням вимог комплексу нормативних документів у сфері охорони праці та безпечної експлуатації електрообладнання. Зміст окремих положень ключових документів [13-16] відображено у матеріалах даного розділу.

2. З точки зору нормального функціонування електротехнічної системи «ВЕС-тягова підстанція змінного струму» одним з найважливіших структурних елементів зазначеної системи є його кабельне господарство. Це, в першу чергу, зумовлено тим, що у відповідності до запропонованих проектних рішень вітрову електростанцію приєднано до тягової підстанції кабельною лінією напругою 35 кВ, з метою зменшення впливу факторів впливу зовнішнього середовища на безперебійність транзиту генерованої на ВЕС електроенергії. Не меншим є значення і внутрішніх кабельних комунікацій тягової підстанції, які забезпечують функціонування пристроїв вимірювання, захисту, управління та інші сласні потреби зазначеної підстанції. Тому під час написання цього розділу значну увагу було приділено вимогам безпеки під час виконання робіт на кабельних лініях.

3. В контексті можливих надзвичайних ситуацій, які потенційно можуть виникнути в складових частинах розглядуваного електротехнічного комплексу, особливу увагу слід приділити порядку дій персоналу під час виникнення пожеж в електроустановках, які знаходяться під напругою, через значну імовірність та небезпечність такої надзвичайної ситуації.

ВИСНОВКИ

1. Інтеграція вітроенергетичних установок у склад системи тягового електропостачання електрифікованих залізниць України є одним з перспективних шляхів використання потенціалу відновлюваних джерел енергії у нашій державі оскільки серед відновлюваних джерел найбільші перспективи розвитку має вітрова енергетика, встановлені потужності якої можуть сягнути 10 ГВт у 2030 році за оцінками вітчизняних науковців. Інвестиційна привабливість українських територій у вітрову енергетику також є вищою у порівнянні з можливостями використання енергії сонця. В той же час АТ «Укрзалізниця» є одним з найбільших споживачів електричної енергії в державі, проте на сьогодні практичний досвід використання енергії вітру в системі тяги змінного струму є відсутнім. Тому можна вважати, що дослідження в цій області є на сьогодні актуальними.

2. З позицій забезпечення безперебійності електропостачання електрорухомого складу а також пристроїв СЦБ та зв'язку важливим фактором є прогнозування впливу потужності приєднаної вітрової електростанції на струми короткого замикання в розподільчих установках тягової підстанції. В умовах неможливості проведення експериментальних досліджень у цьому напрямку таке прогнозування може бути здійснене на основі математичного моделювання із застосуванням системного підходу при якому тягова підстанція та приєднана вітрова електростанція розглядаються як єдина електротехнічна система джерела якої працюють на підживлення точки короткого замикання.

3. Одночасно, зазначене моделювання режимів короткого замикання в розподільчих установках тягової підстанції з приєднаною ВЕС має допомогти в оцінці потрібного обсягу модернізації основного обладнання тягової підстанції, зокрема її комутаційної та захисної апаратури, пристроїв релейного захисту, тощо. При цьому з'являється можливість порівняння можливих варіантів приєднання вітроенергетичного устаткування до різних розподільчих установок

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		51

тягових підстанцій та пошуку раціональних технічних рішень у цьому напрямку.

4. З метою здійснення вказаного вище моделювання у роботі створено схеми заміщення електротехнічної системи «тягова підстанція ЕЧЕ-16 Львівської залізниці-ВЕС». Ці схеми дозволяють прогнозувати вплив зростання потужності приєднаної ВЕС на збільшення струмів трифазного к.з. на шинах тягової підстанції через яку здійснюється передача генерованої потужності до енергосистеми як у разі підключення ВЕС до шин РУ-27,5 кВ або до шин РУ-35 кВ. Можна передбачити, що обидва зазначені варіанти інтеграції ВЕС будуть співставними за економічними витратами, оскільки підключення здійснюється до розподільчих установок максимально наближених за значенням напруги.

5. За результатами розрахунків наведених у розділі 2 встановлено, що з точки зору наявних можливостей комутаційної апаратури тягової підстанції обмеження по відключенню струмів трифазного к.з. починають виникати лише від потужностей приєднаної ВЕС більших за 60 МВт. Тобто обмежуючим фактором, який лімітує потужність ВЕС яку може бути підключено по обом з розглянутих варіантів є встановлена потужність головних знижувальних трансформаторів тягової підстанції ЕЧЕ-16 «Дубно». Її величина становить 40 МВА для кожного з трансформаторів, тому вважаємо доцільним обмежити потужність ВЕС, яку передбачається підключити до шин РУ-27,5 кВ або до шин РУ-35 кВ значенням у 30 МВт. При цьому у разі переходу на розглядуваній електрифікованій ділянці до гібридної системи розподіленого живлення (наприклад для впровадження швидкісного руху) перевагу слід віддати приєднанню до кіл системи 27,5 кВ з можливим розташуванням моноблокових вітроенергетичних установок також і на сусідніх підстанціях та постах секціонування контактної мережі. При мультиблоковій структурі ВЕС найбільш раціональною точкою приєднання у розглядуваному діапазоні потужностей є саме шини РУ-35 кВ через які безпосередньо не здійснюється транзит потужності до тягових навантажень від системи зовнішнього

електропостачання але від яких отримує живлення значна кількість потужних нетягових споживачів.

6. Можливості підключення до тягової підстанції ЕЧЕ-16 вітрових електростанцій потужністю понад 30 МВт пов'язане з дослідженнями струмів короткого замикання у разі приєднання ВЕС до шин 110 кВ. Подібні розрахунки можуть бути віднесені до перспектив подальших досліджень у цій області та лежать за межами даної роботи.

7. Також, безумовно, суттєвим аспектом з точки зору розширення використання електроенергії ВЕС у системах тягового електропостачання залізниць України є потреба проведення досліджень у сфері забезпечення гігієнічних вимог щодо рівнів шуму, інфразвуку та звуку в місцях розташування генеруючи блоків а також забезпечення їх електромагнітної сумісності з існуючим електрообладнанням господарства електропостачання залізниць системи тяги змінного струму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 серпня 2017 р. № 605-р / Міністерство енергетики України. Київ. 2017. 66 с. URL : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.

2. Інтегрований звіт АТ «Укрзалізниця» (Звіт про управління) 2020 р. АТ «Укрзалізниця», Департамент сталого розвитку та внутрішніх комунікацій. Київ. 2021. 308 с. URL : <https://uz.gov.ua/files/file/about/investors/UZ%20Integrated%20Report%202020%20Ukr.pdf>.

3. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2020 році. Затв.: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 26 травня 2021 року № 893 / НКРЕ України. Київ. 2021. 388 с. URL : https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2020.pdf.

4. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на І квартал 2020). Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Київ. 2020. 4 с. URL : https://saee.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE.pdf.

5. Стратегія АТ «Укрзалізниця» на 2019 – 2023 роки. АТ «Укрзалізниця». Київ. 2019. 66 с. URL : [https://uz.gov.ua/files/file/about/documentsСтратегія-5-Typography%20\(укр\).pdf](https://uz.gov.ua/files/file/about/documentsСтратегія-5-Typography%20(укр).pdf).

6 Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні (Звіт) [Електрон. ресурс] / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К., 2017. – 36 с. – Режим доступа:

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		54

<https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>.

7. Бондар О. І., Мася С. В. Порівняльна характеристика варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою змінного струму. Матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференції *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*. Дніпро, ДПТ, 2021. – С. 59-61.

8. Правила улаштування електроустановок . Затв.: Наказ Міністерства енергетики України 21.07.2017. № 476/ НПЦР ОЕС України. Київ. 2017. 617 с.

9. Під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж. Порядок та вимоги ГКД 341.003.001.001.-2000. Міністерство палива та енергетики України. – Київ. 2001. 21 с.

10. Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій потужністю більше 150 кВт щодо приєднання до зовнішніх електричних мереж . GEF. Київ. 2011. 43 с. URL : <https://docplayer.net/74194928-Vimogi-do-vitrovih-ta-sonyachnih-fotoelektrichnih-elektrostanciy-potuzhnistyu-bilshe-150-kvt-shchodo-priiednannya-do-zovnishnih-elektrichnih-merezh.html>

11. Правила проектування вітрових електричних станцій ГКД 341.003.001.002.-2000. Міністерство палива та енергетики України. Київ. 2000. 53 с.

12. Проектування підстанцій електричних мереж : навч. посіб. / З. М. Бахор, А. В. Журахівський ; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2017. 305 с.

13. Охорона праці. Методичні рекомендації до розробки розділу дипломних проектів бакалаврам. уклад.: В. Г. Лоза; Дніпровський . нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2020. -28 с.

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів НПАОП 40.1-1.21-98. Затв.: Наказ Держнаглядохоронпраці 10.02.1998. № 4/ Державний комітет України з нагляду за охороною праці. Київ. 1998. 14 с.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

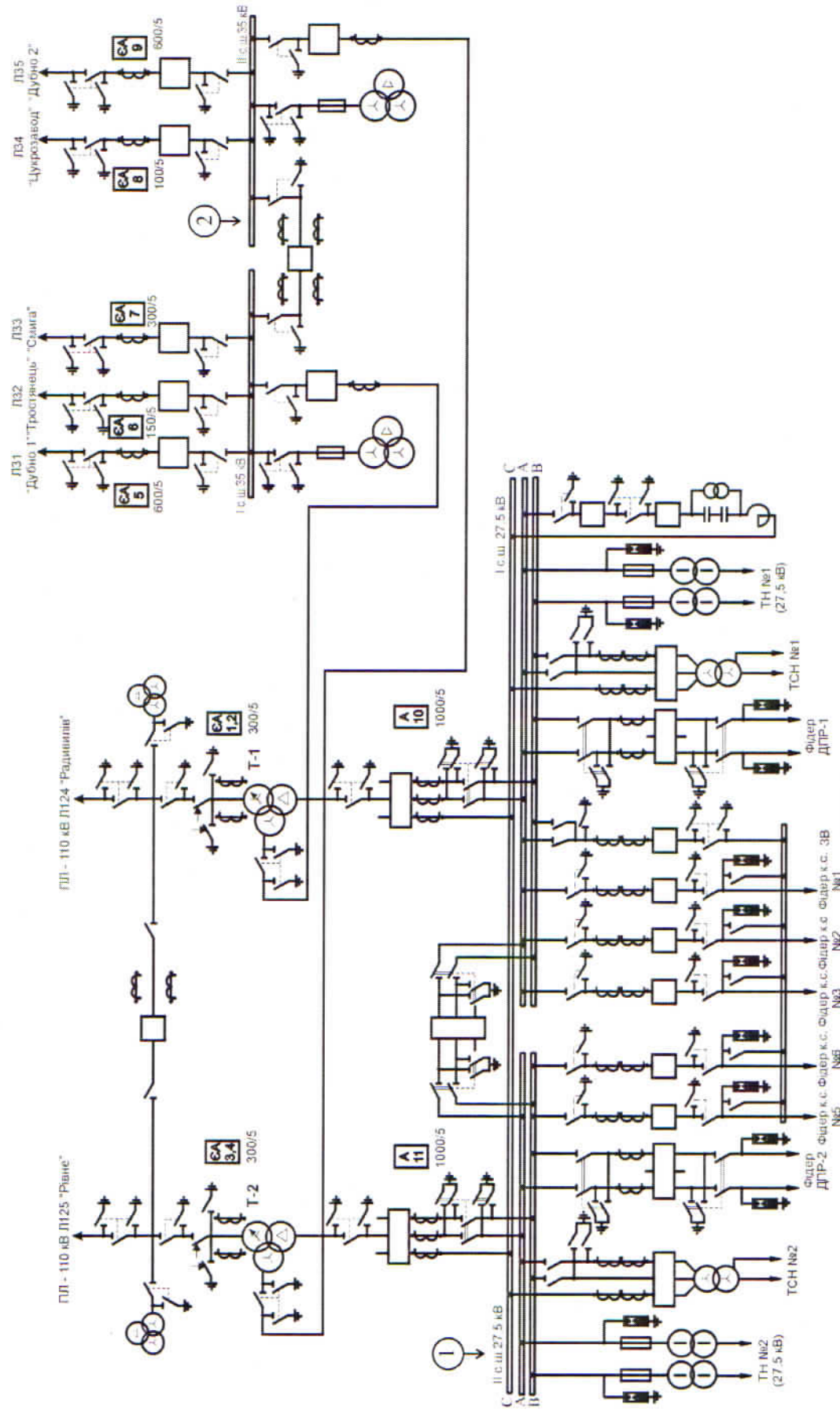
15. Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України НАПБ В.01.034-2018/111: Затв.: Наказ Міненерговугілля України 26.09.2018. № 491/ Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ. 2019. –160 с.

16. Вітроенергетика. Вітрові електричні станції . Вимоги до обсягів приймальних випробувань, комплектації документацією і технічними засобами. Правила проектування вітрових електричних станцій ГКД 341.003.003.001-2000 : Затв.: Наказ Мінпаливенерго України 22.05.2000. № 110/ Державний комітет України з нагляду за охороною праці. К., 1998. 114 с./ Міністерство палива та енергетики України. К., 2000. 10 с.

					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

ДОДАТОК А

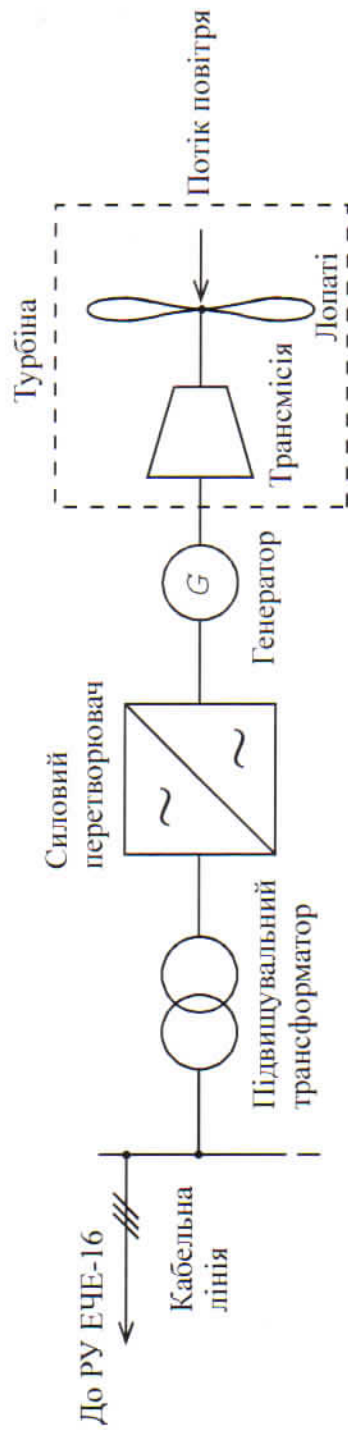
					0024.ДМР21.03.ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		57



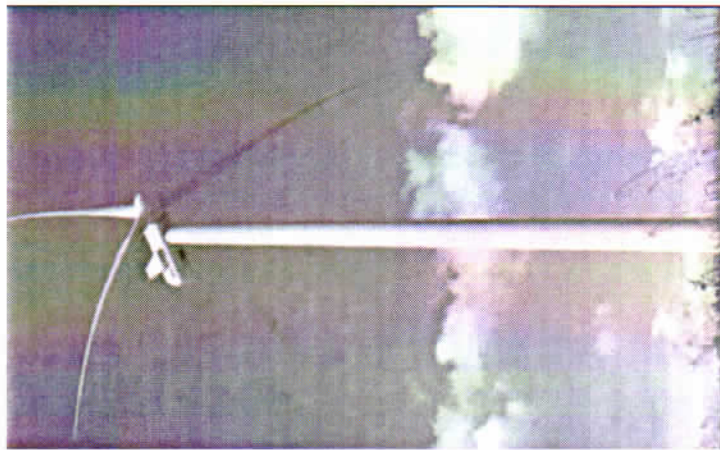
Визначення раціональних варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму				
Зміст	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Мася С. В.		<i>[Signature]</i>	20.12
Перевір.	Бондар О. І.		<i>[Signature]</i>	17.12
Н. Контр.	Карцова О. О.		<i>[Signature]</i>	20.12
Консультації				
Затверд.	Муха А. М.		<i>[Signature]</i>	20.12

0024.ДМР21.03.ЛЗ

УДУНТ, група ЕП2021



Структурна схема генеруючого блоку передбачуваної ВЕС



Зовнішній вигляд вітрогенератора Vestas V112

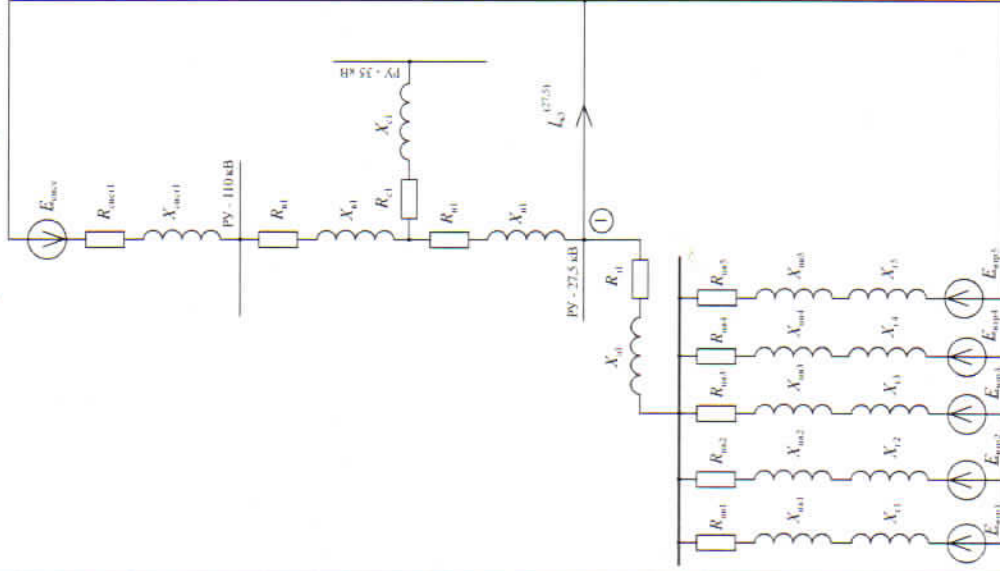
Основні характеристики вітрогенератора

- номінальна потужність: 3000 кВт
- мінімальна швидкість вітру: 4 м/с
- номінальна швидкість вітру : 12 м/с
- критична швидкість вітру : 23 м/с
- швидкість вітру зупинки: 25 м/с
- вітровий клас IEC61400-3: IEC 1B
- діапазон робочих температур: от -20 °C до +45 °C
- діаметр ротора: 112 м
- номінальні оберти: 13,8 об/хв
- робочий інтервал: 8,1 - 19,0 об/хв
- частота вихідної напруги: 50 Гц

Визначення раціональних варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму			
Змін	Лист	№ докум.	Підпис
Розроб.	Мася С.В.	20.12	20.12
Перевір.	Бондар О. І.	17.12	17.12
Н. Конпр.	Карлова О. О.	20.12	20.12
Консультант			
Затверд.	Муха А. М.	20.12	20.12
Принципові схемні рішення та основне обладнання ВЕС			
0024.ДМР21.03.ПЗ			
УДУНТ, група ЕП2021			

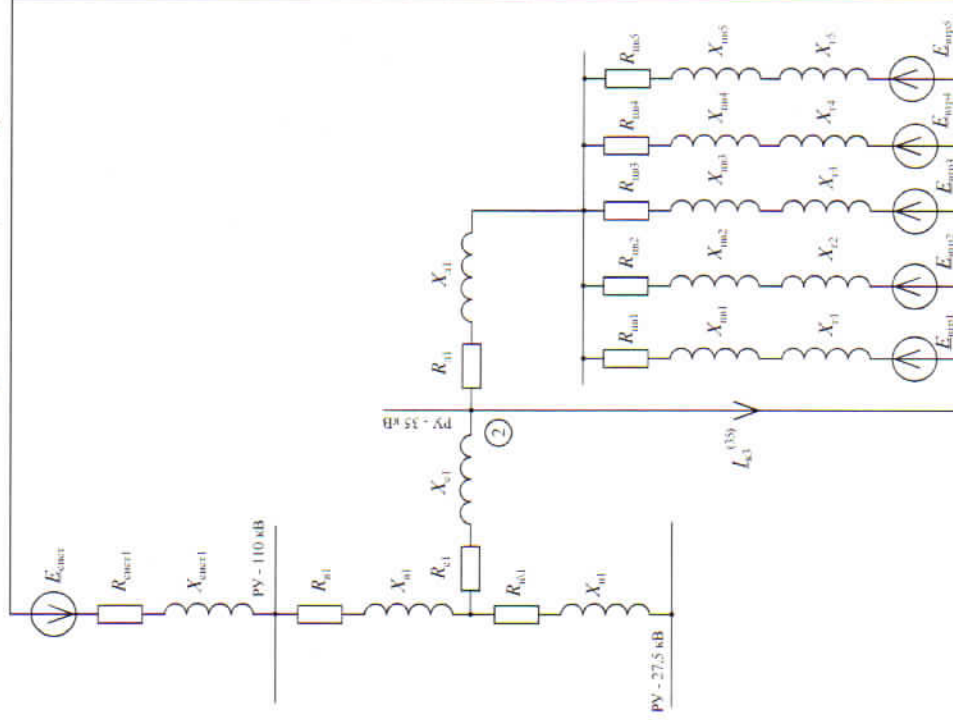
к.з. на шинах 27,5 кВ,

ВЕС приеднано у точку 1



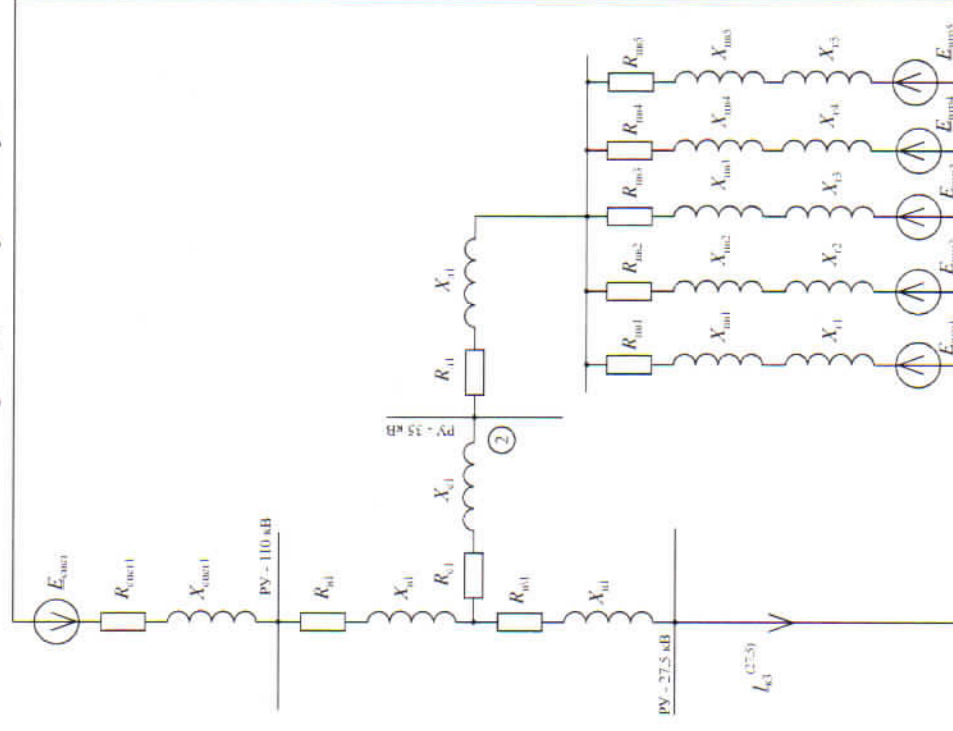
к.з. на шинах 35 кВ,

ВЕС приеднано у точку 2



к.з. на шинах 27,5 кВ,

ВЕС приеднано у точку 2



Зміст	Лист	№ док.	Підпис	Дата
Розроб.		Мася С. В.	<i>[Signature]</i>	20.12
Перевір.		Бондар О. І.	<i>[Signature]</i>	17.12
Н. Конгр.		Карцова О. О.	<i>[Signature]</i>	10.12
Консультант				
Затверд.		Муха А. М.	<i>[Signature]</i>	20.12

Визначення раціональних варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму				
Схеми заміщення електросистеми «ЕЧЕ-16 - ВЕС» для режимів трифазного к.з.				
Літ.	Арк.	Аркушів		
	3	4		
0024.ДМР21.03.ПЗ				
УДУНТ, група ЕП2021				

Залежності величини струмів трифазного к.з. на шинах РУ-27,5 кВ від потужності приєднаної ВЕС до шин РУ-27,5 кВ (точка 1)

Живляча лінія	Потужність ВЕС, МВт	0	15	30	60	120	240	480
ЛП24	$I_{\kappa 23,5}^{(3)}$	4562	5345	6127	7692	10820	17080	29600

Залежності величин струмів трифазного к.з. на шинах РУ-35 кВ від потужності приєднаної ВЕС до шин 35 кВ (точка 2)

Живляча лінія	Потужність ВЕС, МВт	0	15	30	60	120	240	480
ЛП24	$I_{\kappa 35}^{(3)}$	2325	3150	3975	5626	8928	15530	28740
ЛП25	$I_{\kappa 35}^{(3)}$	2456	3282	4107	5758	9059	15660	28870

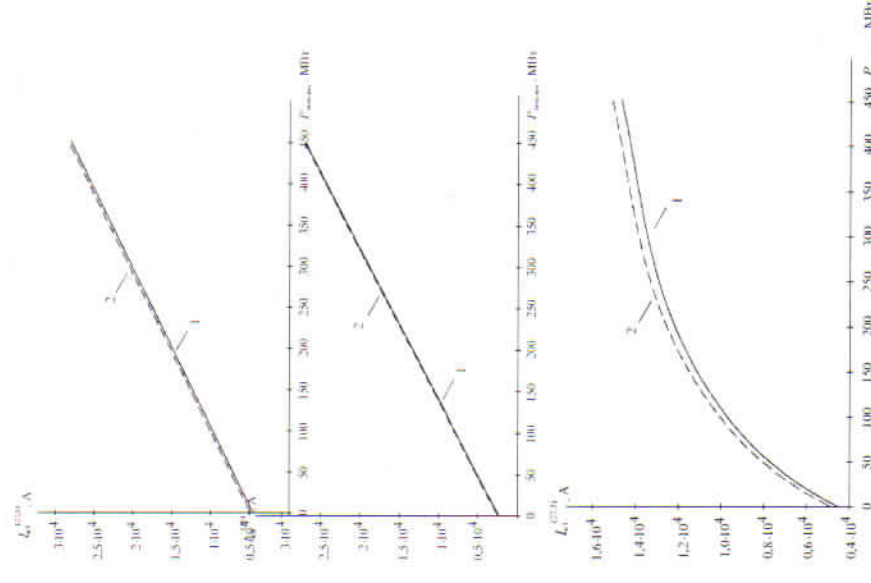
Залежності величин струмів трифазного к.з. на шинях РУ-27,5 кВ від потужності приєднаної ВЕС до шин 35 кВ (точка 2)

Живляча лінія	Потужність ВЕС, МВт	0	15	30	60	120	240	480
Л124	$P_{x27,5}^{(3)}$	4562	5691	6655	8210	10370	12810	15000
Л125	$P_{x27,5}^{(3)}$	4895	6026	6992	8556	10730	13200	15430

Максимальна лімітована потужність ВЕС при підключенні до точок 1 та 2:

за комутациною апаратурою – 60 МВт
за встановленою потужністю ГЗГ – 30 МВт.

Графічна форма представлення результатів.



1-живлення ЕЧЕ-16 через Л124; 2- живлення ЕЧЕ-16 через Л125

[illegible]

Визначення раціональних варіантів приєднання вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України електрифікованих за системою тяги змінного струму				
Результати розрахунків струмів короткого замикання на шинях ЕЧЕ-16	Літ.	Арк.	Аркунів	
		4	4	
0024.ДМР21.03.ПЗ			УДУНТ, група ЕП2021	