

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

М. М. Муха /А. М. Муха/

« 18 » 12 20 20 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 **Дослідження впливу інтеграції вітрової електростанції у склад системи тягового електропостачання на струми короткого замикання тягової підстанції**

Theme **Investigation of the effect of integration of wind power plant into traction power supply system on short-circuit currents of traction substation**

Керівник дипломної роботи

доц. О. І. Бондар

Нормоконтролер

доц. О. О. Карзова

Студент групи ЕП1921

С. В. Загравський

Student

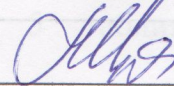
Zahravskyi Stanislav

Дніпро – 2020

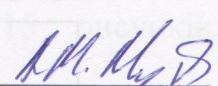
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Факультет Управління енергетичними процесами
кафедра Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри



(підпис)



(ПІБ)

«24» 09 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи 264М (ЕП1921)

(номер групи)

Загравський Станіслав Володимирович

(ПІБ)

1. Тема дипломної роботи «Дослідження впливу інтеграції вітрової електростанції у склад системи тягового електропостачання на струми короткого замикання тягової підстанції.»

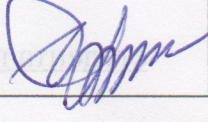
затверджена наказом по університету №849 ст. від «12» листопада 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 17.12.2020

3. Вихідні дані до дипломної роботи принципова оперативна схема тягової підстанції залізничного транспорту, основні технічні характеристики обладнання тягової підстанції, принципова схема та технічні характеристики електрообладнання вітрової електростанції, потужність короткого замикання на вводі тягової підстанції.

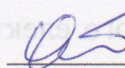
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки критичний аналіз існуючих літературних джерел на тему моделювання й розробки електротехнічних комплексів з вітровими електростанціями і визначення на цій основі пріоритетних шляхів інтеграції вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання. Враховуючи компоновальні та схемні особливості розглядуваного електротехнічного комплексу скласти схему його електричні схеми заміщення для режимів короткого замикання на різних шинах розподільчих установок підстанцій. Згідно розроблених схем заміщення виконати розрахунки струмів короткого замикання в зазначених точках з метою аналізу впливу приєднання вітрової електростанції на струми короткого замикання в системі.

5. Перелік графічних робіт (з переліком обов'язкових креслень) Схема головних електричних з'єднань тягової підстанції, принципова схема та основне обладнання вітрової електростанції, розрахункові схеми заміщення для розрахунків струмів короткого замикання, результати розрахунків, висновки та рекомендації на основі виконаної роботи.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Основна частина	Бондар О.І.		
БЖД	Саблін О.І.		

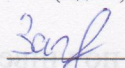
Дата видачі завдання: «29» вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи


(підпис)

Бондар О.І.
(ПІБ)

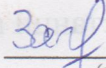
Завдання прийняв до виконання

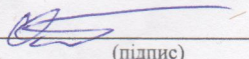

(підпис)

Загравський С.В.
(ПІБ)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Вступ, основна частина – 30%	18.10.2020	
2	Основна частина – 60%	15.11.2020	
3	БЖД	10.12.2020	
4	Графічні роботи, 100% готовності	06.12.2020	

Студент-дипломник 
(підпис)

Керівник роботи 
(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Дослідження впливу інтеграції вітрової електростанції у склад системи тягового електропостачання на струми короткого замикання тягової підстанції» містить: 55 сторінок основного тексту, 5 таблиць, 15 рисунків, 16 літературних джерел.

Мета роботи – математичне моделювання режимів короткого замикання на шинах тягової підстанції, до якої приєднано вітрову електростанцію, та визначення на цій основі обсягу необхідної модернізації елементів системи тягового електропостачання залізниць пов'язаного з приєднанням вітрової електростанції заданої потужності.

В розділі 1 надана загальна інформація про впровадження вітрової електростанції заданої потужності Старий Самбір-1 в Україні, ключові конструктивні та фізичні особливості.

У розділі 2 представлені розрахунки струмів короткого замикання на шинах тягової підстанції

У розділі 3 представлена охорона праці та безпеки життєдіяльності у надзвичайних ситуаціях при експлуатації електроприводу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІТРОВА СТАНЦІЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ, ТРАНСФОРМАТОР, ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, СТРУМ, ОПІР, ПОТУЖНІСТЬ, ЕНЕРГІЯ, ТУРБІНА .

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		4

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 КОМПОНУВАЛЬНІ ТА СХЕМНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ «ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ – ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ	9
1.1 Схемні особливості тягової підстанції постійного струму ЕЧЕ-23 Львівської залізниці	9
1.2 Розташування та компоновка вітрової електростанції Старий Самбір	10
1.3 Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРИЄДНАННЯ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВКАХ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	14
2.1 Структура та параметри схеми заміщення електротехнічного комплексу «тягова підстанція постійного струму-ВЕС»	14
2.2 Дослідження впливу потужності приєднаної ВЕС на струми короткого замикання РУ-10 кВ тягової підстанції	17
2.3 Дослідження впливу потужності приєднаної ВЕС на струми короткого замикання РУ-35 кВ тягової підстанції	27
2.4 Дослідження впливу потужності приєднаної ВЕС на струми короткого замикання РУ-110 кВ тягової підстанції	33
2.5 Висновки до розділу 2	42

					Дослідження впливу інтеграції вітрової електростанції у склад системи тягового електропостачання на струми короткого замикання тягової підстанції.			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Загравський С.В.		18.12				
Перевір.		Бондар О.І.		18.12			5	60
Н. Контр.		Карзова О. О.		18.12				
Консультант						ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна група ЕП1921		
Затверд.		Муха А. М.		18.12				

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	43
3.1 Вимоги безпеки при експлуатації ВЕС	43
3.1.1 Оцінка впливів джерел шуму, інфразвука та звуку на ВЕС	44
3.1.2 Електромагнітне випромінювання і перешкоди теле-радіозв'язку	45
3.1.3 Завдання та обов'язки по категорії тяжкості на робочому місці диспетчера станції	46
3.2 Дія працівників(персоналу) в аварійних(надзвичайних ситуаціях	46
3.2.1 Заходи пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт на об'єктах станції і під час пожежі	46
3.2.2 Захист населення і території в надзвичайних ситуаціях	48
3.3 Висновки до розділу 3	50
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	54
ДОДАТОК А	56

ВСТУП

Як свідчить аналіз останніх публікацій проблеми використання електричної енергії від відновлюваних джерел викликають все більший інтерес як у науковців-дослідників (Бачурин, Сарваров) так і у спеціалістів (Огурцов, Лінков) з експлуатації пристроїв енергетики [1]. Не обминає зазначена тенденція і галузь енергетики України, це пов'язано в першу чергу з необхідністю забезпечення енергетичної незалежності нашої держави ,та диверсифікацію способів отримання електричної енергії все більшу яких повинні становити джерела що не потребують використання імпортованих паливних матеріалів.

Важливою частиною енергетичної системи України є системи електропостачання українських залізниць. За наявними даними обсяг споживання електричної енергії лише на тягу поїздів складають 3892,1 тис. кВт-год. [2]. При цьому частка енергії вітрових електростанцій складає 0,81% від закупленого обсягу, а для сонячних електростанцій 0,75%. В цілому по ДП «Енергоринок» відповідні частки складають 0,68% та 0,5% відповідно. Це свідчить, що з одного боку система електропостачання залізниць має додаткові перспективи у використанні енергії відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), а з іншого боку наявний обсяг споживання все ще є на сьогоднішній день не значним. Під час інтеграції ВДЕ до системи тягового електропостачання (СТЕ) залізниць України постає ряд питань пов'язаних у першу чергу із забезпеченням надійної безперервної роботи модернізованої СТЕ при наявності в ній зазначених джерел. Важливою складовою частиною цієї проблеми є дослідження впливу сонячних і вітрових електростанцій на струми короткого замикання (КЗ) в розподільчих установках тягових підстанцій до яких вони під'єднані при цьому відключаюча здатність вимикачів даних розподільчих установок є вочевидь лімітуючим фактором щодо потужності під'єданого ВДЕ. Особливо гостро це питання стоїть для вітрових електростанцій, через їх потенціально більшу потужність та ряд

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструктивних особливостей. Тому математичне моделювання режимів КЗ в розподільчих установках електростанцій при наявності під'єднаних до них ВЕС є актуальним, як з позиції визначення найбільш раціональних точок приєднання, так і для визначення максимальної потужності приєднаної ВЕС. Критичний аналіз останніх публікацій з цієї тематики свідчить про те що більшість робіт у цьому напрямку присвячена питанням розробки схем заміщення та визначення струмів КЗ на тягових підстанціях з під'єднаними СЕС або із встановленими ВДЕ безпосередньо на об'єктах тягової мережі (системах з розподіленим живленням) [3] . В той же час питання впливу приєднання вітрових електростанцій на струми КЗ тягової підстанції лишається значною мірою поза увагою дослідників. В той же час аналогічним питанням присвячено ряд закордонних робіт, так наприклад в джерелі [4] сформульовані вимоги що до значень і принципів розрахунку струмів КЗ вітрових електростанцій, а також в роботах [5] можна знайти інформацію схожої тематики.

Отже, питання дослідження інтеграції вітрових електростанцій до системи тягового електропостачання залізниць України на струми короткого замикання тягових підстанцій СТЕ є актуальним як з точки зору забезпечення необхідної надійності та безперервності електропостачання системи електротяги, так і з точки зору збереження коректності спрацювання систем релейного захисту тягової підстанції. Існуючим нормативним документом у галузі підключень вітрових електростанцій до енергетичної системи України є [6] в цьому документі зокрема виділено власні вимоги що до приєднання ВЕС до енергосистеми, під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж також йдеться про релейний захист і лінійну автоматику. Зауважимо, що додержання вимог цього документу є обов'язковим при вирішенні питань що до приєднання ВЕС до підстанцій СТЕ України.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
«КОМПОНУВАЛЬНІ ТА СХЕМНІ ОСОБЛИВОСТІ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ «ТЯГОВА ПІДСТАНЦІЯ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ-ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ»

1.1 Схемні особливості тягової підстанції постійного струму
ЕЧЕ-23 Львівської залізниці

Тягова підстанція Старий Самбір-1 ЕЧЕ-23 Львівської залізниці живиться від системи зовнішнього електропостачання, а саме від чотирьох повітряних ліній високої напруги (110 кВ), що забезпечує першу категорію за надійністю електричного постачання.

Розподільча установка 110 кВ складається з 2 секцій шин, до яких через масляні вимикачі підключені головні знижувальні трансформатори Т1, Т2, Т3 з потужністю 16 МВт кожен. Підключення цих трансформаторів через роз'єднувачі здійснено таким чином щоб електрична енергія могла поступати через них або від першої секції шин 110 кВ або від другої секції. Обмотка середньої напруги цих трансформаторів підключена до РУ-35 кВ, від якого по повітряних лініях ЛЗ1, ЛЗ2, ЛЗ3 отримують живлення нетягові споживачі, розташовані поблизу залізниці. Обмотка низької напруги зазначених трансформаторів підключена до РУ-10 кВ, яка має 2 секції шин, від яких отримує живлення перетворювальні тягові агрегати КВ-1, КВ-2, а також лінії повздовжнього електричного постачання (Л-11, Л-12), РУ-0,4 кВ через трансформатор власних потреб та лінії СЦБ через трансформатор ТСЦБ. З перетворювальних агрегатів електрична енергія поступає на РУ-3,3 кВ (постійного струму), до якого приєднані фідери, які живлять контактну мережу та решта допоміжного обладнання (реактор , фільтр , розрядники та ін.) на підставі цієї схеми складаємо розрахункову схему заміщень для розрахунків КЗ.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

1.2 Розташування та компоновка вітрової електростанції Старий Самбір

За рахунок особливостей рельєфу та великої площі гірських схилів формуються сильні вітрові напрямки вздовж річки Дністер (рис. 1.1).

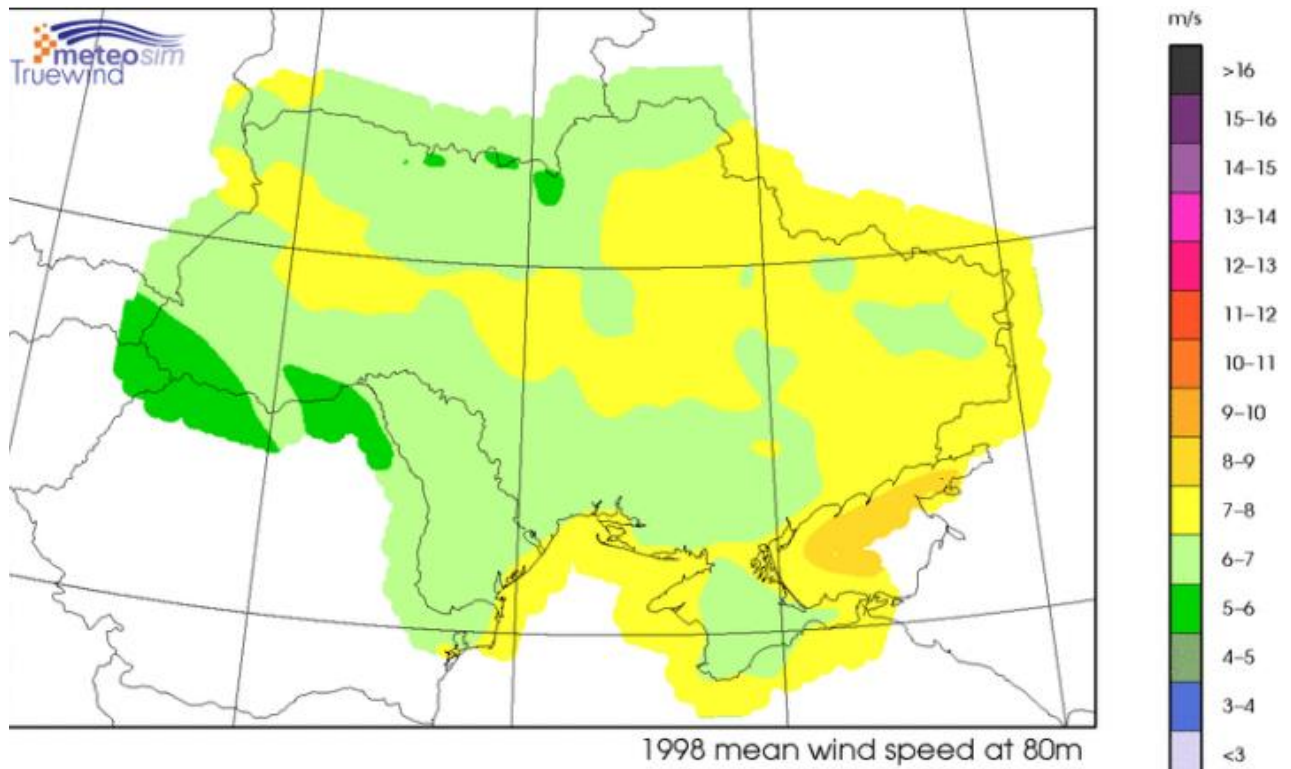


Рис. 1.1. Карта вітрових зон України

Середньорічна швидкість вітру на цих площах досягає 7,64 м/сек [7] (2009-2010 рр.). З урахуванням особливостей вітрового потенціалу даної місцевості в рамках проекту «Вітер Карпат» заплановано будівництво трьох вітрових електростанцій на території Західної України, загальною потужністю 79,2 МВт. Першу чергу в рамках цього проекту (ВЕС Старий Самбір-1) введено в експлуатацію в 2014 р. Згадана ВЕС розташована в гірській місцевості поблизу м. Старий Самбір на відстані близько 5 км від тягової підстанції ЕЧЕ-23 (рис. 1.2).

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		10



Рис. 1.2. План розміщення вітроустановок на ВЕС «Старий Самбір-1»

Дана ВЕС складається з чотирьох генеруючих блоків на основі турбін Vestas V112 [8] (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Зовнішній вигляд вітрової турбіни Vestas V112

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		11

Ця турбіна має номінальну потужність 3450 кВт, та працює на частоті 50/60 Гц, діаметр ротора складає 112 м, а висота мачи становить 119 м. Дана турбіна може працювати в діапазоні температур від -20°C до $+45^{\circ}\text{C}$, що підходить під наші кліматичні умови. Усі вище вказані фактори повинні забезпечити нам 38 млн. кВт год. річного виробництва електричної енергії, а річних відпуск електроенергії становитиме 37 млн. кВт. год. При цьому капіталовкладення становитимуть 20,5 млн. євро, які повернуться через 7 років. Також важливо що за рахунок впровадження ВЕС викиди CO_2 зменшаться до 32 тис м^3 . Vestas V112 має власну систему моніторингу, систему підйому персоналу, систему пожежогасіння, та декілька режимів роботи при різній швидкості вітру.

Принципова схема ВЕС Самбір-1 представлено на рис. 1.4.

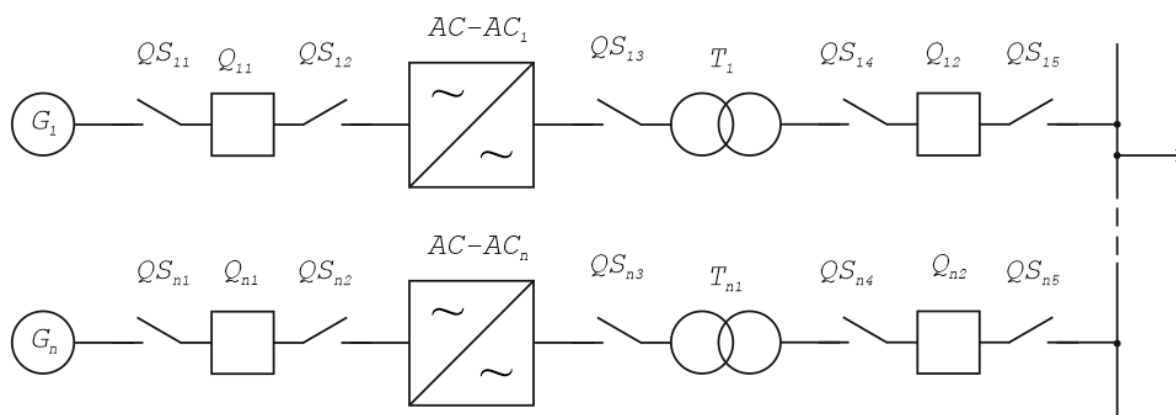


Рис. 1.4. Принципова схема ВЕС Самбір-1

Кожний генеруючий блок даної ВЕС складається з генератора ($G_1..G_n$) від якого електрична енергія генерована за рахунок енергії вітру через роз'єднувачі ($QS_{11}, QS_{12}..QS_{n1}, QS_{n2}$) та вимикачі ($Q_{11}..Q_{n1}$) поступає на перетворювач частоти ($AC-AC_1..AC-AC_n$). Далі електрична енергія трифазного змінного струму частотою 50 Гц передається на підвищувальні трансформатори T_1 і T_n з вихідним значенням напруги 35 кВ. Далі електроенергія від усіх генеруючих блоків передається через високовольтну лінію до РУ-35кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23 (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Точка приєднання ВЕС до ЕЧЕ-23

1.3 Висновки до розділу 1

- 1) За особливостями своєї компоновки тягова підстанція Старий Самбір ЕЧЕ-23 представляє собою класичну тягову підстанцію постійного струму з первинною напругою живлення 110 кВ. Для складання розрахункової схеми її заміщення в режимі КЗ на шинах кожної розподільчої установки принциповою особливістю є те, що в нормальному режимі живлення зовнішнього електропостачання здійснюється через один головний знижувальний трансформатор потужністю 16 МВт.
- 2) Оскільки ВЕС Самбір-1 конструктивно приєднано до шин середньої напруги (35 кВ) тягової підстанції то дослідження впливу збільшення потужності ВЕС на струми КЗ тягової підстанцій ЕЧЕ-23 доцільно проводити виходячи з того, що до зазначених шин будуть паралельно підключатись нові черги ВЕС однотипних за обладнанням та потужністю до ВЕС Самбір-1, компоновку якої описано в п. 1.2.

РОЗДІЛ 2

«АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРИЄДНАННЯ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВКАХ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

2.1. Структура та параметри схеми заміщення електротехнічного комплексу «тягова підстанція постійного струму-ВЕС»

Однією з основних вимог, що пред'являються до систем тягового електропостачання (СТЕ) є забезпечення безперервного живлення електрорухомого складу електричною енергією з визначеними показниками якості. Важливим фактором у виконанні цієї вимоги є коректне функціонування комутаційної апаратури та релейного захисту тягових підстанцій у тому числі і при зростаючих потужностях КЗ на відповідних шинах внаслідок інтеграції ВДЕ до складу СТЕ. Тобто постає задача прогнозування впливу приєднаної вітрової електростанції на струми коротких замикань у розподільчих установках тягової підстанції через яку здійснюється транзит генерованої електроенергії від ВЕС.

Як відзначено у [9] серед усіх видів КЗ на шинах тягових підстанцій змінного струму найбільш небезпечним режимом є режим трифазного КЗ, хоча цей аварійний режим спостерігається приблизно у 5 % випадків від загальної кількості коротких замикань в електроустановках. В той же час, з точки зору перевірки чутливості релейного захисту, важливим є струм двофазного КЗ. Тому розрахунок означених струмів на шинах РУ-10 кВ, РУ-35 кВ та РУ-110 кВ пропонується виконати із застосуванням стандартизованої методики [10] та обчислювального апарату теорії лінійних електричних кіл синусоїдного струму в усталеному режимі на основі оригінальної схеми заміщення електротехнічного комплексу «тягова підстанція постійного струму-ВЕС», яку представлено на рис. 2.1.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

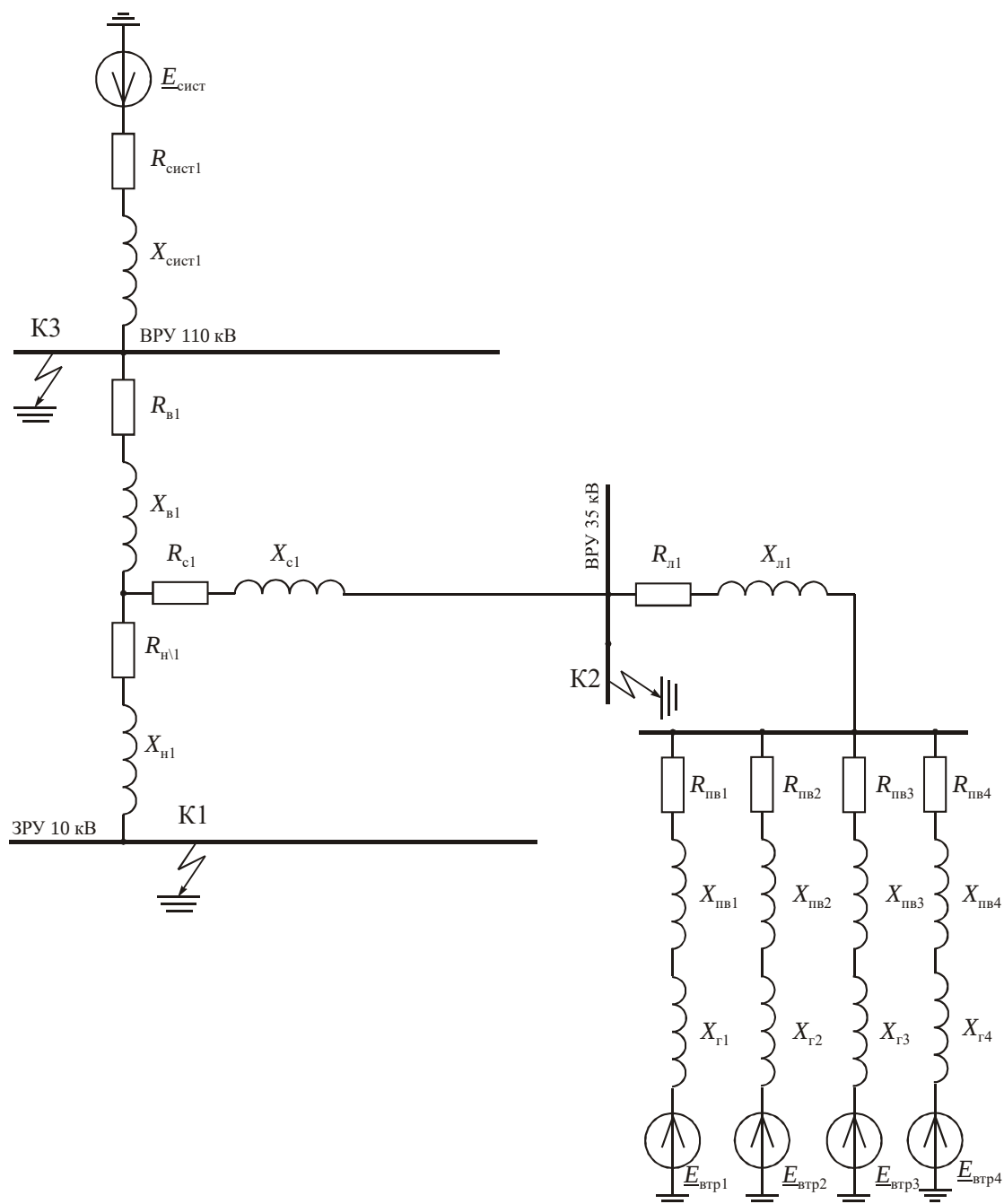


Рис. 2.1. Схема заміщення електротехнічного комплексу «тягова підстанція постійного струму-ВЕС» в режимі трифазного або двофазного КЗ на шинах змінного струму тягової підстанції. К1, К2, К3 – розрахункові точки КЗ

Зазначена схема враховує особливості структури тягової підстанції ЕЧЕ-23 Старий Самбір Львівської залізниці з приєднаною ВЕС по кабельній лінії до шин РУ-35 кВ, які було описано вище. Розрахунки виконано за умови передачі електричної енергії від системи зовнішнього електропостачання через головний знижувальний трансформатор Т1.

Опишемо детально позначені на схемі заміщення елементи.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		15

$\underline{E}_{\text{сист}}, \underline{E}_{\text{втр1}} \dots \underline{E}_{\text{втр4}}$ – комплексні електрорушійні сили системи зовнішнього електропостачання та вітрових генераторів ВЕС;

$R_{\text{сист1}}, X_{\text{сист1}}$ – активний та реактивний еквівалентні опори системи зовнішнього електропостачання при умові живлення ЕЧЕ-23 через ПЛ-110 кВ Стрілки та ПЛ-110 кВ. Згідно з вихідними даними потужності короткого замикання на вході ЕЧЕ-23 $R_{\text{сист1}} = 10,38 \text{ Ом}$; $X_{\text{сист1}} = 26,99 \text{ Ом}$.

$R_{\text{в1}}, X_{\text{в1}}$ – 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 ВРУ-35 кВ ЕЧЕ-23.

Розрахунки зроблені для лінії довжиною $L=5$ км еквівалентним перерізом $3 \times \text{АС-120}$.

$R_{\text{пв1}} \dots R_{\text{пв4}}, X_{\text{пв1}} \dots X_{\text{пв4}}$ – активні та реактивні опори підвищуючих трансформаторів окремих секцій ВЕС.

$X_{\text{г1}} \dots X_{\text{г4}}$ – реактивні еквівалентні опори блоків вітрової генерації ВЕС.

Наближену методику їх визначення описано в [12] виходячи з максимальної потужності вітрового генератора та потужності КЗ у місці його приєднання.

Зазначені опори обчислимо далі згідно [3] виходячи з паспортних даних трансформатора Т1 [11] наведених у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні данні ГЗТ Т1 ЕЧЕ-23

Тип трансформатора	$S_{\text{ГЗТ}}, \text{МВА}$	Напруга обмотки, кВ			Втрати $\Delta P_{\text{к}}, \text{кВт}$	Напруга короткого замикання $u_{\text{к}}, \%$		
		$U_{\text{ном ВН}}$	$U_{\text{ном СН}}$	$U_{\text{ном НН}}$		$u_{\text{к ВН-СН}}$	$u_{\text{к ВН-НН}}$	$u_{\text{к СН-НН}}$
ТДТН-16000/110	16	115	38,5	11	100	10,5	17,5	6,5

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

Таблиця 2.2 – Паспортні данні підвищено чого сухого трансформатора генеруючої секції ВЕС

Тип трансформатора	$S_{\text{пв}}$, кВА	Напруга обмотки, кВ		Втрати ΔP_k , кВт	Напруга короткого замикання u_k , %
		$U_{\text{ном вн}}$	$U_{\text{ном нн}}$		
Serie E.COL 36 kV	3150	36	0,4	20,2	8,0

2.2 Дослідження впливу потужності приєднаної ВЕС на струми короткого замикання РУ-10 кВ тягової підстанції

З позицій забезпечення безперебійного електропостачання тягових споживачів передусім слід дослідити вплив потужності приєднаної ВЕС на струми трифазного та двофазного КЗ на шинах РУ-10 кВ тому що саме до них приєднано перетворювальні агрегати живлення тягової мережі.

Для цього спочатку обчислимо опори елементів схем заміщення рис. 2.2 та рис. 2.3, які приведено до розрахункової напруги ступені КЗ $U_{\text{розр}} = U_{\text{ном нн}} = 11,0$ кВ.

Зокрема відносні значення напруги короткого замикання окремих обмоток ГЗТ Т1 обчислимо так:

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

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

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

Результати розрахунку за (2.1)-(2.3) наступні:

$$u_{k \text{ в1}} = 10,75 \%;$$

$$u_{k \text{ с1}} = -0,25 \%;$$

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

$$u_{к\ н1}=6,75 \ %.$$

Тоді реактивні опори обмоток ГЗТ Т1

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

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

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

Відповідно $X_{в1} = 0,813 \text{ Ом};$

$$X_{с1} = -0,019 \text{ Ом};$$

$$X_{н1} = 0,51 \text{ Ом}.$$

Активний опір пари обмоток ГЗТ на підставі його паспортних даних

$$R_{Т1} = \frac{\Delta P_{к\ 1} \cdot U_{розр}^2 \cdot 10^3}{S_{ГЗТ1}^2}. \quad (2.7)$$

Отже, $R_{Т1} = 0,047 \text{ Ом}$. Виходячи з того, що усі обмотки трансформатора розраховано на однакову потужність

$$R_{в1} = R_{с1} = R_{н1} = 0,5 \cdot R_{Т1}, \quad (2.8)$$

тоді, $R_{в1} = R_{с1} = R_{н1} = 0,024 \text{ Ом}$.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

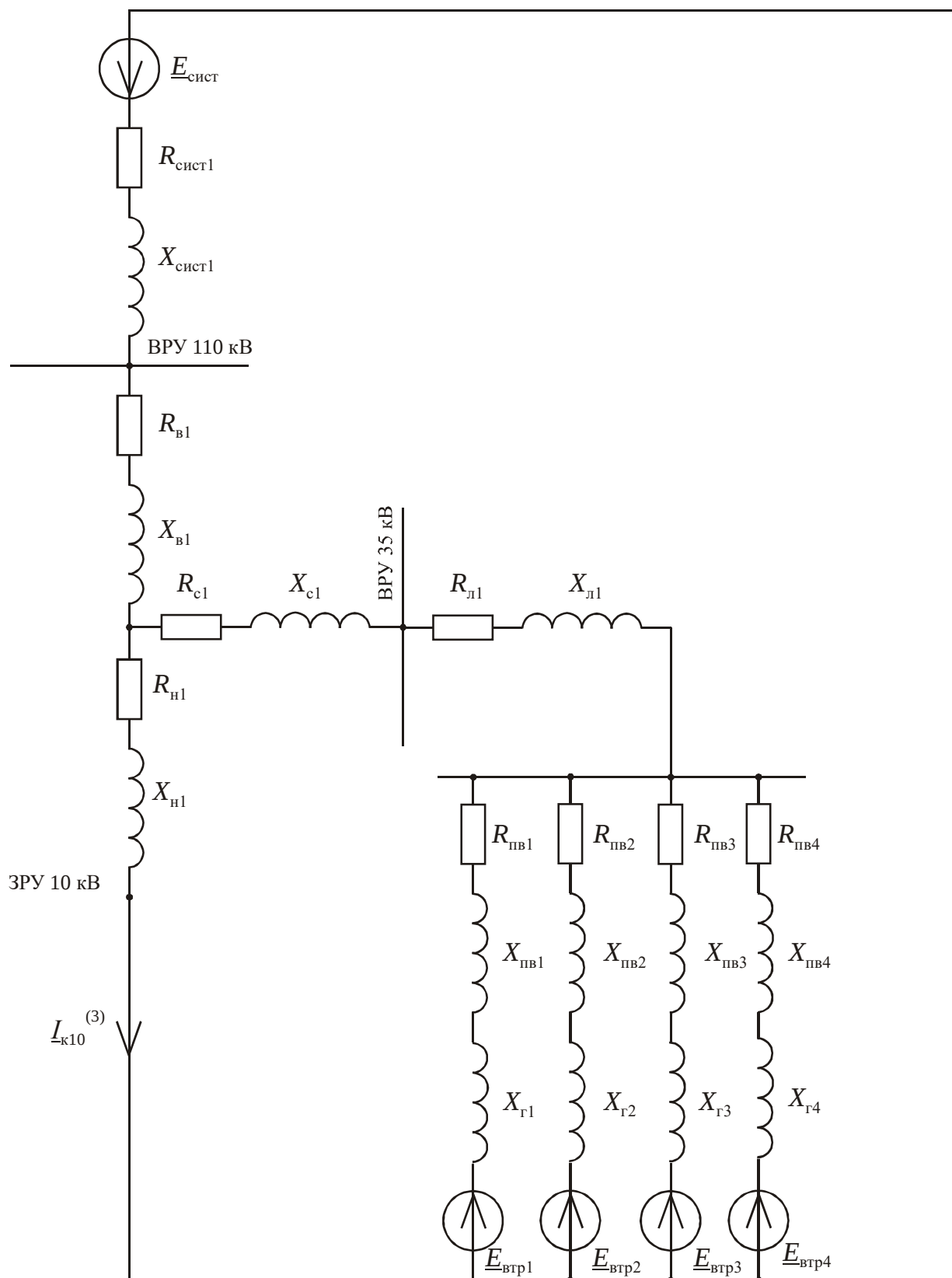


Рис. 2.2. Схема заміщення для розрахунків струму режимі трифазного КЗ на шинах РУ-10 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23

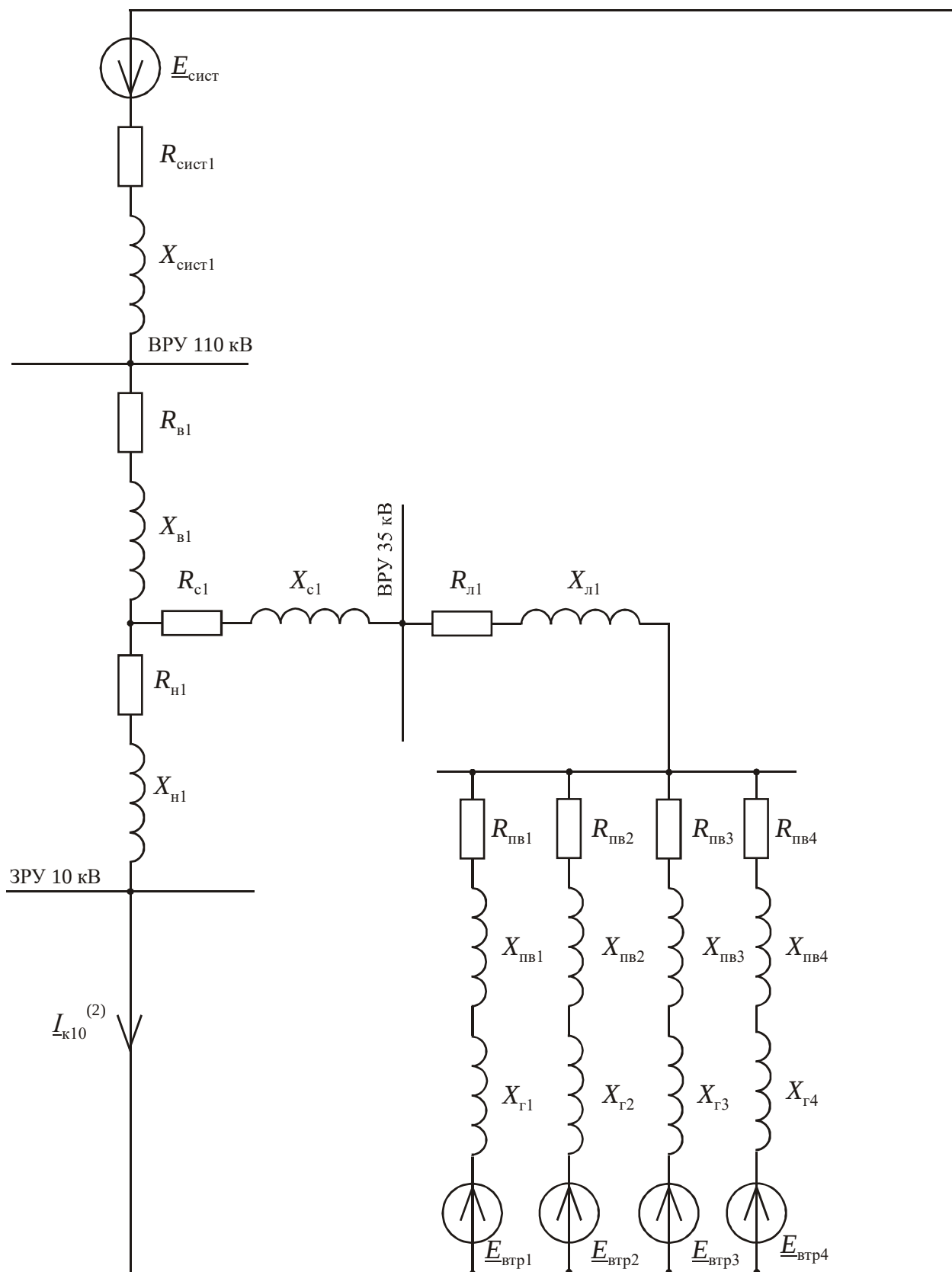


Рис. 2.3. Схема заміщення для розрахунків струму режимі двофазного КЗ на шинах РУ-10 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23

Аналогічним шляхом обчислюємо параметри підвищуючого трансформатора кожної з чотирьох генеруючих секцій ВЕС.

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

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

Трансформатори однотипні $X_{\text{ПВ1}} = X_{\text{ПВ2}} = X_{\text{ПВ3}} = X_{\text{ПВ4}} = 3,073 \text{ Ом};$
 $R_{\text{ПВ1}} = R_{\text{ПВ2}} = R_{\text{ПВ3}} = R_{\text{ПВ4}} = 0,246 \text{ Ом}.$

Активний та реактивний опори високовольтної лінії ВЕС-ЕЧЕ-23 приведені до розрахункової напруги

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

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

де R_0 , X_0 – погонні активний та реактивний опори лінії. Зокрема згідно з [3]
 $R_0 = 0,249 \text{ Ом/км}; X_0 = 0,414 \text{ Ом/км}.$

Відповідно з (2.11) та (2.12) маємо $R_{\text{Л1}} = 0,102 \text{ Ом}; X_{\text{Л1}} = 0,169 \text{ Ом}.$

Приведемо значення опорів системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня КЗ [10]

$$R_{\text{СИС10}} = R_{\text{СИС1}} \cdot \frac{U_{\text{розр}}^2}{U_{\text{НОМ ВН}}^2}, \quad (2.13)$$

$$X_{\text{СИС10}} = X_{\text{СИС1}} \cdot \frac{U_{\text{розр}}^2}{U_{\text{НОМ ВН}}^2}. \quad (2.14)$$

Згідно з (2.14) та (2.15) $R_{\text{СИС10}} = 0,095 \text{ Ом}; X_{\text{СИС10}} = 0,247 \text{ Ом}.$

Далі перейдемо до визначення еквівалентних параметрів генератора ВЕС. Його індуктивний опір:

$$X_{\text{ген}} = X_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМГ}}}, \quad (2.15)$$

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

$X_d'' = 0,125 \text{ Ом}$ [12];

S_6 – базова потужність короткого замикання у точці підключення генератора,

$S_6 = 2000 \text{ МВА}$ [12];

$S_{\text{НОМГ}}$ – номінальна потужність вітрового генератора $S_{\text{НОМГ}} = 3,45 \text{ МВА}$ [8].

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

Отже, реактивні еквівалентні опори блоків вітрової генерації ВЕС $X_{Г1} \dots X_{Г4}$ приведені до розрахункової напруги розраховуємо за аналогічними виразами

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

Тому $X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = X_{Г4} = 5,915 \text{ Ом}$.

Комплексні провідності генеруючих секцій ВЕС:

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

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

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

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

Підставивши значення у вирази (2.17)-(2.20) отримаємо

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

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

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

$$\underline{E}_{\text{втр1}} = \frac{U_{\text{розр}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}, \quad (2.21)$$

тоді еквівалентна комплексна е.р.с. вітрової електростанції

$$\underline{E}_{\text{вес1}} = \frac{\underline{E}_{\text{втр1}} \cdot \underline{Y}_{\text{втр1}} + \underline{E}_{\text{втр2}} \cdot \underline{Y}_{\text{втр2}} + \underline{E}_{\text{втр3}} \cdot \underline{Y}_{\text{втр3}} + \underline{E}_{\text{втр4}} \cdot \underline{Y}_{\text{втр4}}}{\underline{Y}_{\text{втр1}} + \underline{Y}_{\text{втр2}} + \underline{Y}_{\text{втр3}} + \underline{Y}_{\text{втр4}}}, \quad (2.22)$$

а комплексний опір струмам короткого замикання підсистеми «ВЕС-високовольтна лінія до ЕЧЕ-23»

$$\underline{Z}_{\text{вес1}} = R_{\text{л1}} + j \cdot X_{\text{л1}} + \frac{1}{\underline{Y}_{\text{втр1}} + \underline{Y}_{\text{втр2}} + \underline{Y}_{\text{втр3}} + \underline{Y}_{\text{втр4}}}. \quad (2.23)$$

Із співвідношень (2.22) та (2.23) з урахуванням (2.21):

$$\underline{E}_{\text{вес1}} = 6,351 + j \cdot 0 = 6,351 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ};$$

$$\underline{Z}_{\text{вес1}} = 0,163 + j \cdot 2,416 = 2,422 \cdot e^{j \cdot 86,14^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексний опір системи зовнішнього електропостачання з урахуванням опору ВН ГЗТ Т1

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = R_{\text{сис10}} + j \cdot X_{\text{сис10}} + R_{\text{В1}} + j \cdot X_{\text{В1}}. \quad (2.24)$$

Виконуючи обчислення згідно (2.24) запишемо

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = 0,119 + j \cdot 1,06 = 1,067 \cdot e^{j \cdot 83,62^\circ} \text{ Ом.}$$

На підставі проведених вище розрахунків еквівалентний опір кола рис. 2.2 та рис. 2.3 струмам трифазного та двофазного КЗ

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = R_{\text{н1}} + j \cdot X_{\text{н1}} + \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot (\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}})}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}}, \quad (2.25)$$

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = 0,098 + j \cdot 1,246 = 1,249 \cdot e^{j \cdot 85,49^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексна е.р.с. системи зовнішнього електропостачання:

$$\underline{E}_{\text{сист}} = \frac{U_{\text{розр}}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}, \quad (2.26)$$

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

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

Еквівалентна комплексна е.р.с., яка живить точку КЗ

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.27)$$

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

Комплексна величина струму трифазного КЗ на шинах РУ-10 кВ

$$\underline{I}_{\text{к10}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{екв}}}{\underline{Z}_{\text{екв}}}, \quad (2.28)$$

$$\underline{I}_{\text{к10}}^{(3)} = 399,5 - j \cdot 5065 = 5083 \cdot e^{-j \cdot 85,49^\circ} \text{ А.}$$

Комплексна величина струму двофазного КЗ [10]:

$$\underline{I}_{\text{к10}}^{(2)} = \underline{I}_{\text{к10}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (2.29)$$

$$\underline{I}_{\text{к10}}^{(2)} = 345,99 - j \cdot 4388 = 4402 \cdot e^{-j \cdot 85,49^\circ} \text{ А.}$$

Для порівняння обчислимо струми трифазного та двофазного КЗ на шинах РУ-10 кВ від дії е.р.с. системи зовнішнього електропостачання за умови відсутності приєднаної ВЕС

$$\underline{I}_{\text{к10зовн}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{сист}}}{R_{\text{сис10}} + j \cdot X_{\text{сис10}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}} + R_{\text{н1}} + j \cdot X_{\text{н1}}}, \quad (2.30)$$

$$\underline{I}_{\text{к10зовн}}^{(2)} = \underline{I}_{\text{к10зовн}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (2.31)$$

$$\underline{I}_{\text{к10зовн}}^{(3)} = 363,32 - j \cdot 4011 = 4028 \cdot e^{-j \cdot 84,83^\circ} \text{ А,}$$

$$\underline{I}_{\text{к10зовн}}^{(2)} = 314,64 - j \cdot 3474 = 3488 \cdot e^{-j \cdot 84,83^\circ} \text{ А.}$$

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

Отримані вище співвідношення дозволяють провести дослідження впливу збільшення потужності приєднаної ВЕС на величини струмів короткого замикання на шинах тягової підстанції, через яку здійснюється транзит генерованої електроенергії до енергосистеми. Розрахунки пропонується виконати для випадку почергового приєднання до ЕЧЕ-23 вітрових електростанцій за структурою та потужністю однотипних до ВЕС-1 ($P_{\text{НОМ ВЕС}}$), однотипною є також з'єднуюча високовольтна лінія між окремою чергою ВЕС та тяговою підстанцією. Загальна потужність приєднаних ВЕС при цьому матиме наступні значення: $P_{\text{НОМ ВЕС}}$, $2 \cdot P_{\text{НОМ ВЕС}}$, $4 \cdot P_{\text{НОМ ВЕС}}$, $6 \cdot P_{\text{НОМ ВЕС}}$, $8 \cdot P_{\text{НОМ ВЕС}}$, $10 \cdot P_{\text{НОМ ВЕС}}$. Розрахунок проводимо за (2.1)-(2.31), але вирази (2.25), (2.27) виглядатимуть наступним чином:

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = R_{\text{Н1}} + j \cdot X_{\text{Н1}} + \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \left(\frac{\underline{Z}_{\text{ВЕС1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} \right)}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \frac{\underline{Z}_{\text{ВЕС1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}}, \quad (2.32)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\frac{\underline{E}_{\text{ВЕС1}} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{ВЕС1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{ВЕС1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}}, \quad (2.33)$$

де $n = 2, 4, 6, 8, 10 \dots$ – кількість однотипних приєднаних ВЕС.

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вплив потужності приєднаної ВЕС на струми КЗ тягової підстанції

Потужність ВЕС	0	$P_{\text{НОМ}}$	$2 \cdot P_{\text{НОМ}}$	$4 \cdot P_{\text{НОМ}}$	$6 \cdot P_{\text{НОМ}}$	$8 \cdot P_{\text{НОМ}}$	$10 \cdot P_{\text{НОМ}}$
$I_{\text{к10}}^{(3)}$	4028	5083	5914	7137	7994	8628	9115
$I_{\text{к10}}^{(2)}$	3488	4402	5122	6181	6923	7472	7894

З графічного представлення результатів (рис. 2.4) при збільшенні потужності ВЕС струми короткого замикання зростають нелінійно. Враховуючи цей факт у даній роботі з метою кількісної оцінки впливу потужності приєднаної ВЕС на зростання струму короткого замикання на шинах тягової підстанції запропоновано застосувати поняття про так званий коефіцієнт прирощення струму КЗ (наприклад, для трифазного КЗ (2.33).

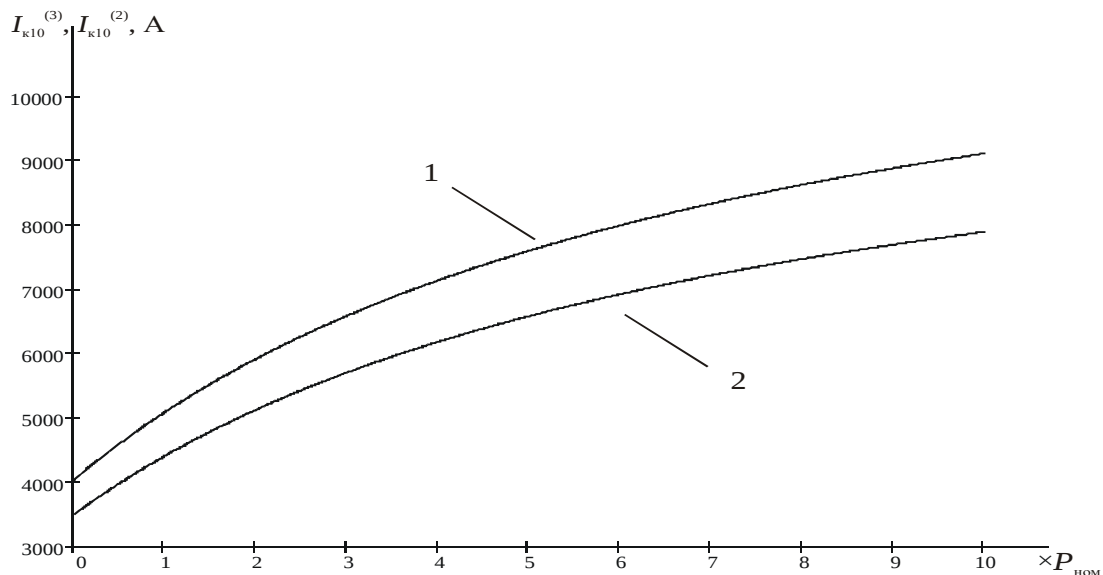


Рис. 2.4. Залежності діючих значень струмів трифазного КЗ на шинах РУ-10 кВ (крива 1) та двофазного КЗ (крива 2) від потужності приєднаної ВЕС

$$K_{к10(P_{ВЕС})}^{(3)} = \frac{I_{к10(P_{ВЕС})}^{(3)} - I_{к10зовн}^{(3)}}{I_{к10зовн}^{(3)}} \cdot 100\%; \quad (2.34)$$

де $K_{к10(P_{ВЕС})}^{(3)}$ – коефіцієнт прирощення діючого струму трифазного КЗ на шинах 10 кВ тягової підстанції при підключенні до цієї підстанції ВЕС с потужністю $P_{ВЕС}$.

$I_{к10(P_{ВЕС})}^{(3)}$ – діюче значення струму трифазного КЗ на шинах 10 кВ тягової підстанції при підключенні до цієї підстанції ВЕС с потужністю $P_{ВЕС}$,

$I_{к10зовн}^{(3)}$ – те ж саме від дії виключно системи зовнішнього електропостачання при відсутності ВЕС.

Зокрема для випадку $P_{ВЕС} = 10 \cdot P_{ном}$ маємо $I_{к10(10 \cdot P_{ВЕС})}^{(3)} = 126,3 \%$.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		26

2.3 Дослідження впливу потужності приєднаної ВЕС на струми короткого замикання РУ-35 кВ тягової підстанції

Розрахунок струмів трифазного та двофазного КЗ на шинах РУ-35 кВ проведено за методикою описаною у попередньому підрозділі. Відмінності полягають, по-перше у конфігурації розрахункових схем заміщення (рис. 2.5 та рис. 2.6). По-друге, параметри цих схем заміщення мають бути приведені до розрахункової напруги $U_{розр} = U_{номсн} = 38,5$ кВ.

З урахуванням зазначених факторів реактивні опори обмоток ГЗТ Т1 за (2.4)-(2.6) матимуть наступні значення $X_{в1} = 9,959$ Ом; $X_{с1} = -0,232$ Ом; $X_{н1} = 6,253$ Ом.

Активний опір пари обмоток ГЗТ на підставі його паспортних даних по виразу (2.7) становитиме $R_{Т1} = 0,579$ Ом. Знов виходячи з того, що усі обмотки трансформатора розраховано на однакову потужність за (2.8), маємо $R_{в1} = R_{с1} = R_{н1} = 0,29$ Ом.

Аналогічним шляхом обчислюємо параметри підвищуючого трансформатора кожної з чотирьох однотипних генеруючих секцій ВЕС за виразами (2.9) та (2.10): $X_{пв1} = X_{пв2} = X_{пв3} = X_{пв4} = 37,644$ Ом; $R_{пв1} = R_{пв2} = R_{пв3} = R_{пв4} = 3,018$ Ом.

Активний та реактивний опори високовольтної лінії ВЕС-ЕЧЕ-23 приведені до розрахункової напруги згідно (2.11) та (2.12) $R_{л1} = 1,245$ Ом; $X_{л1} = 2,07$ Ом.

Після приведення значень опорів системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня КЗ за виразами аналогічними за структурою (2.13) та (2.14): $R_{сис35} = 1,163$ Ом; $X_{сис35} = 3,025$ Ом.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дат		

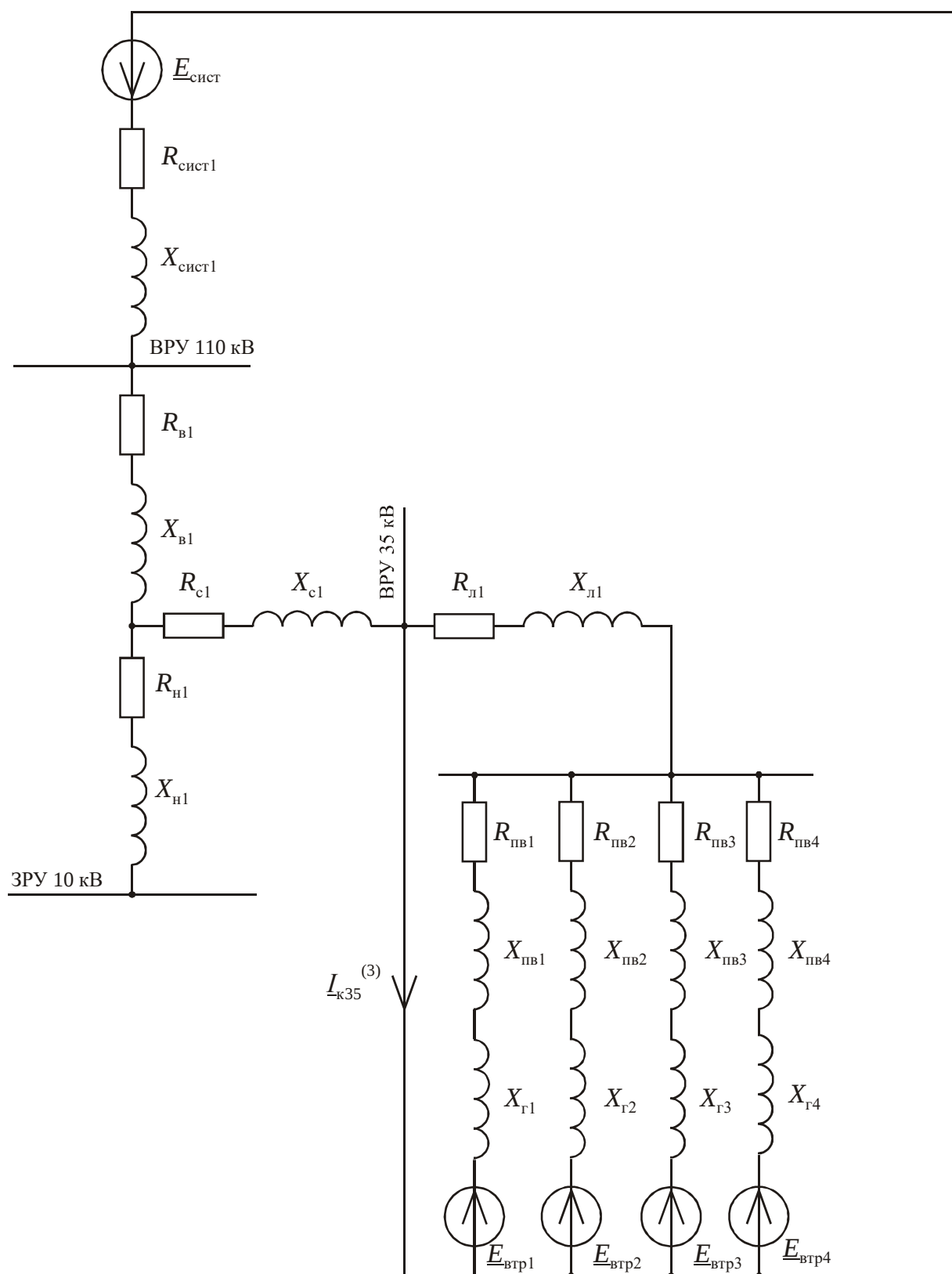


Рис. 2.5. Схема заміщення для розрахунків струму режимі трифазного КЗ на шинах РУ-35 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23

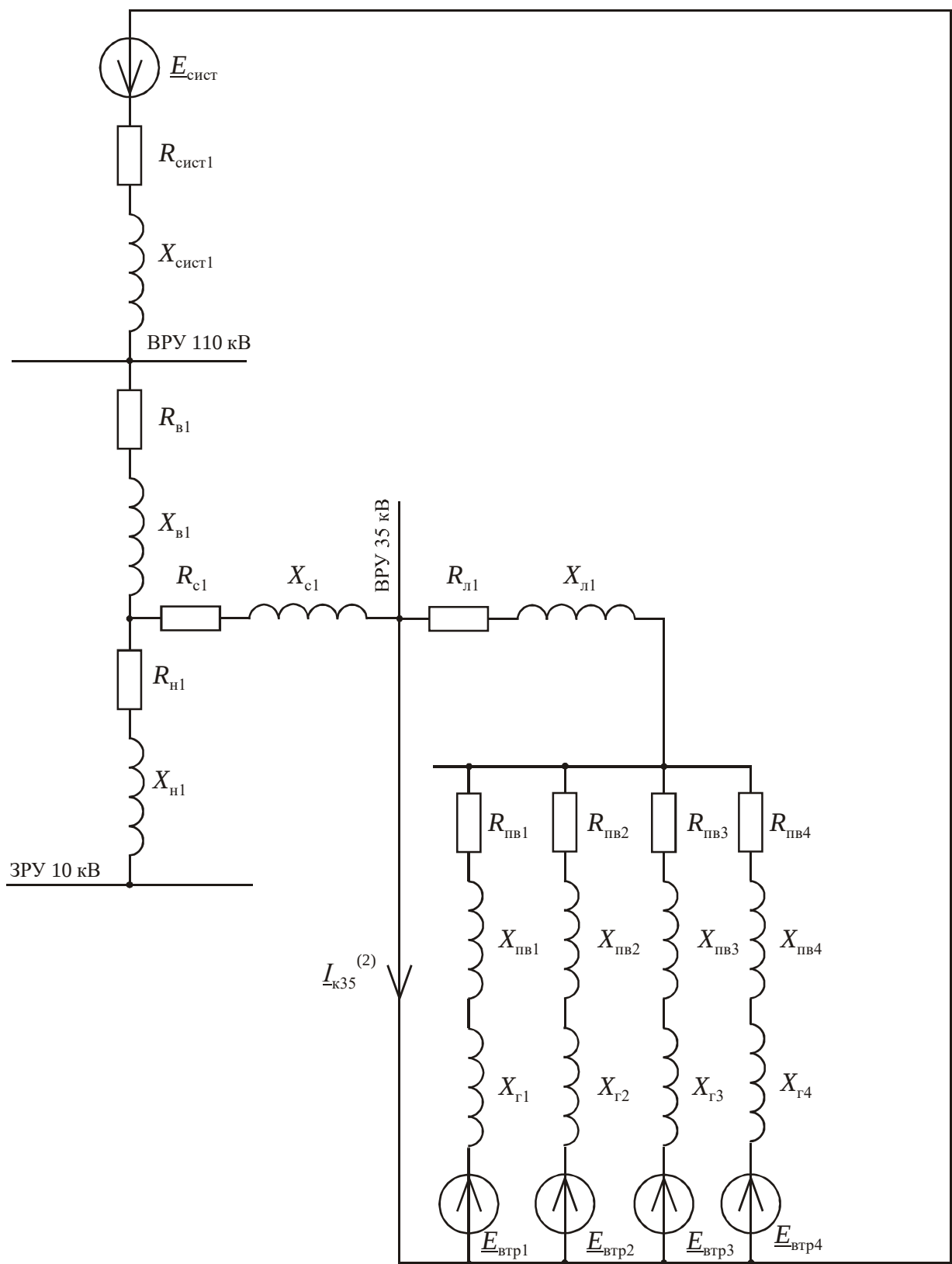


Рис. 2.6. Схема заміщення для розрахунків струму режимі двофазного КЗ на шинах РУ-35 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23

Далі на підставі (2.15) та (2.16) знаходимо:
 $X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = X_{Г4} = 7246 \text{ Ом.}$ Тоді комплексні провідності генеруючих секцій ВЕС по (2.17)-(2.20):

$$\underline{Y}_{\text{втр3}} = \underline{Y}_{\text{втр4}} = 2,484 \cdot 10^{-4} - j \cdot 9,075 \cdot 10^{-3} = 9,079 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j \cdot 88,43^\circ} \text{ См.}$$

Тоді еквівалентна комплексна е.р.с. вітрової електростанції по виразах (2.21) та (2.22) дорівнює $\underline{E}_{\text{вес1}} = 22,288 + j \cdot 0 = 22,288 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ;}$ а комплексний опір струмам короткого замикання підсистеми «ВЕС- високовольтна лінія до ЕЧЕ-23» за виразом (2.23): $\underline{Z}_{\text{вес1}} = 1,999 + j \cdot 29,596 = 29,664 \cdot e^{j \cdot 86,14^\circ} \text{ Ом.}$

Комплексний опір системи зовнішнього електропостачання до точки КЗ :

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = R_{\text{сис35}} + j \cdot X_{\text{сис35}} + R_{\text{В1}} + j \cdot X_{\text{В1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}. \quad (2.35)$$

Виконуючи обчислення згідно (2.35) запишемо

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = 1,742 + j \cdot 12,752 = 12,871 \cdot e^{j \cdot 82,22^\circ} \text{ Ом.}$$

На підставі проведених вище розрахунків еквівалентний опір кола рис. 2.5 та рис. 2.6 струмам трифазного та двофазного КЗ.

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \underline{Z}_{\text{вес1}}}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \underline{Z}_{\text{вес1}}}, \quad (2.36)$$

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = 1,032 + j \cdot 8,921 = 8,981 \cdot e^{j \cdot 83,4^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексна е.р.с. системи зовнішнього електропостачання по (2.26):

$$\underline{E}_{\text{сист}} = 22,228 + j \cdot 0 = 22,228 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Еквівалентна комплексна е.р.с., яка живить точку КЗ з урахуванням виразу

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.37)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = 22,228 + j \cdot 0 = 22,228 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Комплексна величина струму трифазного КЗ на шинах РУ-35 кВ

$$\underline{I}_{\kappa 35}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{екв}}}{\underline{Z}_{\text{екв}}}, \quad (2.38)$$

$$\underline{I}_{\kappa 35}^{(3)} = 284,3 - j \cdot 2459 = 2475 \cdot e^{-j \cdot 83,4^\circ} \text{ А.}$$

Комплексна величина струму двофазного КЗ [10]:

$$\underline{I}_{\kappa 35}^{(2)} = \underline{I}_{\kappa 35}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (2.39)$$

$$\underline{I}_{\kappa 35}^{(2)} = 246,21 - j \cdot 2129 = 2144 \cdot e^{-j \cdot 83,4^\circ} \text{ А.}$$

Для порівняння обчислимо струми трифазного та двофазного КЗ на шинах РУ-35 кВ від дії е.р.с. системи зовнішнього електропостачання за умови відсутності приєднаної ВЕС

$$\underline{I}_{\kappa 35 \text{зовн}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{сист}}}{R_{\text{сис}35} + j \cdot X_{\text{сис}35} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}}}, \quad (2.40)$$

$$\underline{I}_{\kappa 35 \text{зовн}}^{(2)} = \underline{I}_{\kappa 35 \text{зовн}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (2.41)$$

$$\underline{I}_{\kappa 35 \text{зовн}}^{(3)} = 233,8 - j \cdot 1711 = 1727 \cdot e^{-j \cdot 82,22^\circ} \text{ А,}$$

$$\underline{I}_{\kappa 35 \text{зовн}}^{(2)} = 202,47 - j \cdot 1482 = 1496 \cdot e^{-j \cdot 82,22^\circ} \text{ А.}$$

Аналогічно попередньому підрозділу проводимо дослідження впливу збільшення потужності приєднаної ВЕС на величини струмів короткого замикання на шинах тягової підстанції, через яку здійснюється транзит генерованої електроенергії до енергосистеми. Розрахунки виконано для випадку почергового приєднання до ЕЧЕ-23 вітрових електростанцій за структурою та потужністю однотипних до ВЕС-1 ($P_{\text{ном вес}}$), однотипною є також з'єднуюча високовольтна лінія між окремою чергою ВЕС та тяговою підстанцією. Загальна потужність приєднаних ВЕС при цьому матиме наступні значення: $P_{\text{ном вес}}$, $2 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $4 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $6 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $8 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $10 \cdot P_{\text{ном вес}}$.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Розрахунок проводимо по формулам викладеним у цьому підрозділі вище , але вирази (2.36), (2.37) виглядатимуть наступним чином:

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}}, \quad (2.42)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.43)$$

де $n = 2, 4, 6, 8, 10 \dots$ – кількість однотипних приєднаних ВЕС.

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Потужності приєднаної ВЕС на струми КЗ тягової підстанції

Потужність ВЕС	0	$P_{\text{ном}}$	$2 \cdot P_{\text{ном}}$	$4 \cdot P_{\text{ном}}$	$6 \cdot P_{\text{ном}}$	$8 \cdot P_{\text{ном}}$	$10 \cdot P_{\text{ном}}$
$I_{\text{к35}}^{(3)}$	1727	2475	3224	4722	6220	7719	9217
$I_{\text{к35}}^{(2)}$	1496	2143	2792	4089	5387	6685	7982

Графічного результати розрахунків представлено на рис. 2.7. Дані залежності значно ближче до лінійних, ніж ті, що представлені на рис. 2.4.

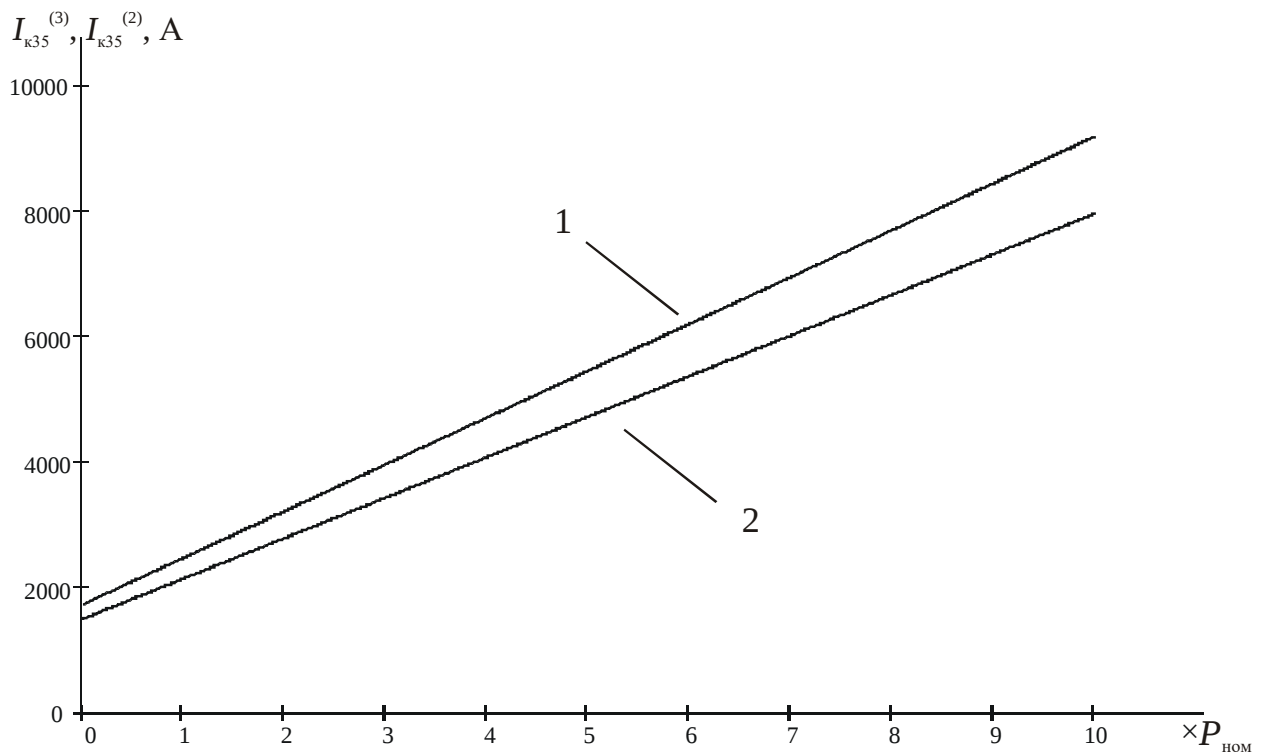


Рис. 2.7. Залежності діючих значень струмів трифазного КЗ на шинах РУ-35 кВ (крива 1) та двофазного КЗ (крива 2) від потужності приєднаної ВЕС

Коефіцієнт прирощення діючого струму трифазного КЗ на шинах 35 кВ тягової підстанції при підключенні до цієї підстанції ВЕС с потужністю $P_{\text{вес}}$ для випадку $P_{\text{вес}} = 10 \cdot P_{\text{ном}}$ по виразу (2.34)

$$K_{\kappa 35(P_{\text{вес}})}^{(3)} = \frac{I_{\kappa 35(P_{\text{вес}})}^{(3)} - I_{\kappa 35\text{зовн}}^{(3)}}{I_{\kappa 35\text{зовн}}^{(3)}} \cdot 100\%; \quad (2.44)$$

маємо $I_{\kappa 35(10 \cdot P_{\text{вес}})}^{(3)} = 433,7 \%$.

2.4. Дослідження впливу потужності приєднаної ВЕС на струми короткого замикання РУ-110 кВ тягової підстанції

Розрахунок струмів трифазного та двофазного КЗ на шинах РУ-110 кВ проведено аналогічно розрахункам, які описані у двох попередніх підрозділах. При цьому розрахункові схеми заміщення мають вигляд показаних на рис. 2.8 та рис. 2.9. Параметри цих схем заміщення приведені до розрахункової напруги $U_{\text{розр}} = U_{\text{ном вн}} = 115 \text{ кВ}$.

З урахуванням зазначених факторів реактивні опори обмоток ГЗТ Т1 за формулами (2.4)-(2.6) матимуть наступні значення:

$$X_{B1} = 88,855 \text{ Ом}; X_{C1} = -2,066 \text{ Ом}; X_{H1} = 55,793 \text{ Ом}.$$

Активний опір пари обмоток ГЗТ на підставі його паспортних даних згідно із співвідношенням (2.7) становить $R_{T1} = 5,166 \text{ Ом}$. Як і в розрахунках, виконаних у п. 2.2. та п. 2.3, виходимо з того, що усі обмотки трансформатора розраховано на однакову потужність. Тоді за виразом (2.8): $R_{B1} = R_{C1} = R_{H1} = 2,583 \text{ Ом}$.

Подібним шляхом обчислюємо параметри підвищуючого трансформатора кожної з чотирьох однотипних генеруючих секцій ВЕС за виразами (2.9) та (2.10): $X_{ПВ1} = X_{ПВ2} = X_{ПВ3} = X_{ПВ4} = 335,873 \text{ Ом}$; $R_{ПВ1} = R_{ПВ2} = R_{ПВ3} = R_{ПВ4} = 26,923 \text{ Ом}$.

Активний та реактивний опори високовольтної лінії ВЕС-ЕЧЕ-23 приведені до розрахункової напруги згідно (2.11) та (2.12) у даному випадку становлять $R_{Л1} = 11,108 \text{ Ом}$; $X_{Л1} = 18,469 \text{ Ом}$.

Після приведення значень опорів системи зовнішнього електропостачання до розрахункової напруги ступеня КЗ за виразами аналогічними за структурою (2.13) та (2.14): $R_{СИС110} = 10,38 \text{ Ом}$; $X_{СИС110} = 26,99 \text{ Ом}$.

Далі на підставі (2.15) та (2.16): $X_{Г1} = X_{Г2} = X_{Г3} = X_{Г4} = 792,563 \text{ Ом}$.

Тоді комплексні провідності генеруючих секцій ВЕС по (2.17)-(2.20):

$$\underline{Y}_{ВТР1} = \underline{Y}_{ВТР2} = \underline{Y}_{ВТР3} = \underline{Y}_{ВТР4} = 2,113 \cdot 10^{-5} - j \cdot 8,857 \cdot 10^{-4} = 8,859 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-j88,63^\circ} \text{ См}.$$

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		34

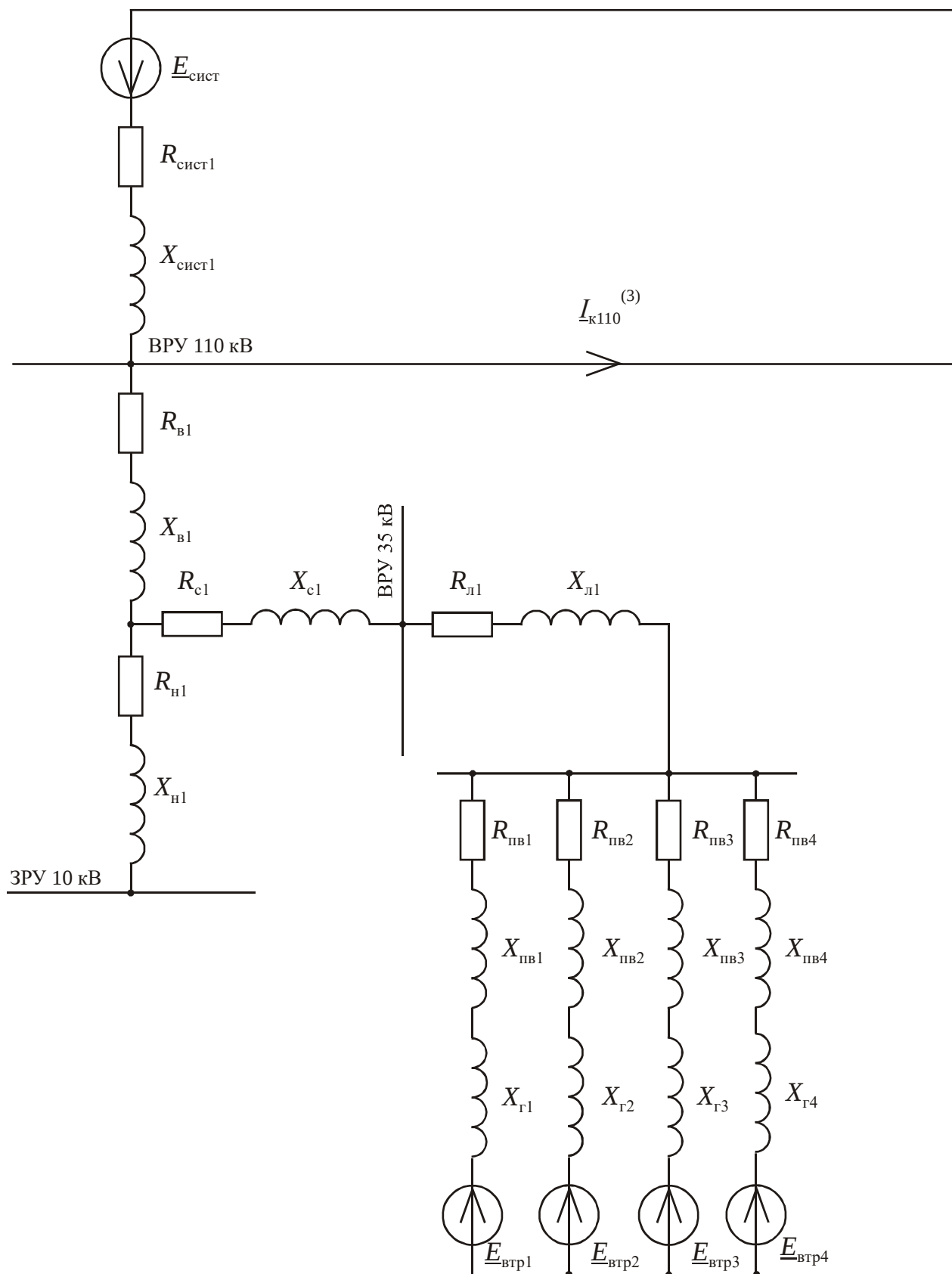


Рис. 2.8. Схема заміщення для розрахунків струму режимі трифазного КЗ на шинах РУ-110 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23

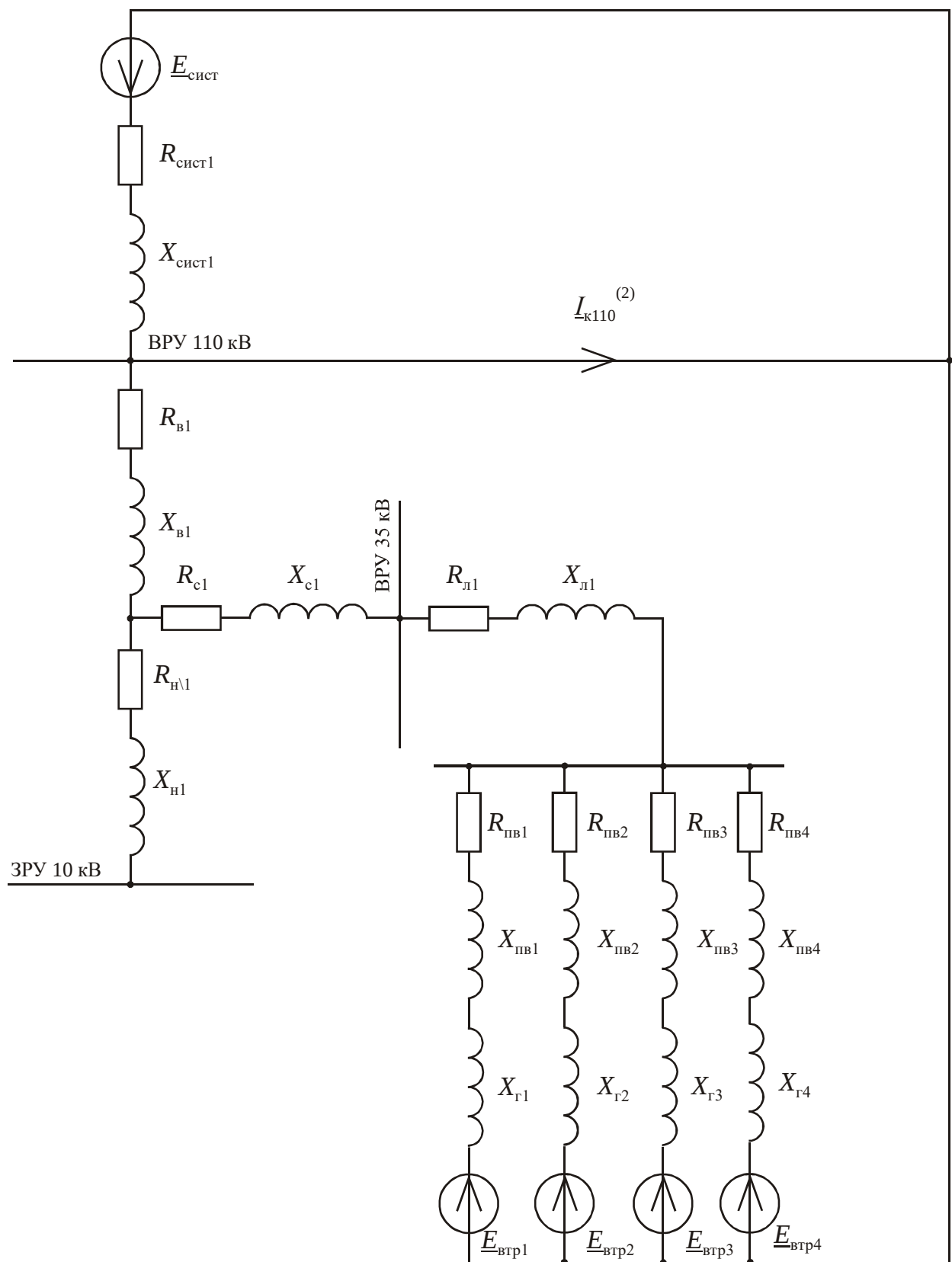


Рис. 2.9. Схема заміщення для розрахунків струму режимі двофазного КЗ на шинах РУ-110 кВ тягової підстанції ЕЧЕ-23

Відповідно еквівалентна комплексна е.р.с. вітрової електростанції по виразах (2.21) та (2.22) дорівнює $\underline{E}_{\text{вес1}} = 66,395 + j \cdot 0 = 66,395 \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$ кВ; а комплексний опір струмам короткого замикання підсистеми «ВЕС- високовольтна лінія до ЕЧЕ-23» за виразом (2.23):

$$\underline{Z}_{\text{вес1}} = 17,871 + j \cdot 281,058 = 281,626 \cdot e^{j \cdot 86,36^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексний опір системи зовнішнього електропостачання

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = R_{\text{сис110}} + j \cdot X_{\text{сис110}}. \quad (2.45)$$

Провівши обчислення згідно (2.45) маємо

$$\underline{Z}_{\text{зовн}} = 10,38 + j \cdot 26,99 = 28,917 \cdot e^{j \cdot 68,96^\circ} \text{ Ом.}$$

На підставі проведених вище розрахунків еквівалентний опір кола рис. 2.5 та рис. 2.6 струмам трифазного та двофазного КЗ знайдено так:

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot (\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}})}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}}}, \quad (2.46)$$

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = 9,103 + j \cdot 25,31 = 26,897 \cdot e^{j \cdot 70,22^\circ} \text{ Ом.}$$

Комплексна е.р.с. системи зовнішнього електропостачання по (2.26):

$$\underline{E}_{\text{сист}} = 66,395 + j \cdot 0 = 66,395 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Еквівалентна комплексна е.р.с., яка живить точку КЗ з урахуванням виразу

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\underline{Z}_{\text{вес1}} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.47)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = 66,395 + j \cdot 0 = 66,395 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ кВ.}$$

Комплексна величина струму трифазного КЗ на шинах РУ-110 кВ

$$\underline{I}_{\kappa 110}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{екв}}}{\underline{Z}_{\text{екв}}}, \quad (2.48)$$

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

$$\underline{I}_{\kappa 110}^{(3)} = 835,44 - j \cdot 2323 = 2468 \cdot e^{-j \cdot 70,22^\circ} \text{ А.}$$

Комплексна величина струму двофазного КЗ [10]:

$$\underline{I}_{\kappa 110}^{(2)} = \underline{I}_{\kappa 110}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (2.49)$$

$$\underline{I}_{\kappa 110}^{(2)} = 723,512 - j \cdot 2012 = 2138 \cdot e^{-j \cdot 70,22^\circ} \text{ А.}$$

Для порівняння обчислимо струми трифазного та двофазного КЗ на шинах РУ-110 кВ від дії е.р.с. системи зовнішнього електропостачання за умови відсутності приєднаної ВЕС

$$\underline{I}_{\kappa 110 \text{зовн}}^{(3)} = \frac{\underline{E}_{\text{сист}}}{R_{\text{сис}110} + j \cdot X_{\text{сис}110}}, \quad (2.50)$$

$$\underline{I}_{\kappa 110 \text{зовн}}^{(2)} = \underline{I}_{\kappa 110 \text{зовн}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (2.51)$$

$$\underline{I}_{\kappa 110 \text{зовн}}^{(3)} = 824,18 - j \cdot 2143 = 2296 \cdot e^{-j \cdot 68,96^\circ} \text{ А,}$$

$$\underline{I}_{\kappa 110 \text{зовн}}^{(2)} = 713,761 - j \cdot 1856 = 1988 \cdot e^{-j \cdot 68,96^\circ} \text{ А.}$$

Аналогічно виконаним розрахункам у п. 2.2 та п. 2.3 проведемо дослідження впливу збільшення потужності приєднаної ВЕС на величини струмів короткого замикання на шинах тягової підстанції через яку здійснюється транзит генерованої електроенергії до енергосистеми. Розрахунки виконаємо для випадку почергового приєднання до ЕЧЕ-23 вітрових електростанцій за структурою та потужністю однотипних до ВЕС-1 ($P_{\text{ном вес}}$), однотипною є також з'єднуюча високовольтна лінія між окремою чергою ВЕС та тяговою підстанцією. Загальна потужність приєднаних ВЕС при цьому матиме наступні значення: $P_{\text{ном вес}}$, $2 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $4 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $6 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $8 \cdot P_{\text{ном вес}}$, $10 \cdot P_{\text{ном вес}}$. Розрахунок проводимо по формулам викладеним у цьому підрозділі вище, але вирази (2.46) та (2.47) виглядатимуть наступним чином:

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\underline{Z}_{\text{екв}} = \frac{\underline{Z}_{\text{зовн}} \cdot \left(\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}} \right)}{\underline{Z}_{\text{зовн}} + \frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}}}, \quad (2.52)$$

$$\underline{E}_{\text{екв}} = \frac{\underline{E}_{\text{вес1}} \cdot \frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}}} + \underline{E}_{\text{сист}} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}{\frac{1}{\frac{\underline{Z}_{\text{вес1}}}{n} + R_{\text{с1}} + j \cdot X_{\text{с1}} + R_{\text{в1}} + j \cdot X_{\text{в1}}} + \frac{1}{\underline{Z}_{\text{зовн}}}}, \quad (2.53)$$

де $n = 2, 4, 6, 8, 10 \dots$ – кількість однотипних приєднаних ВЕС.

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Вплив потужності приєднаної ВЕС на струми КЗ тягової підстанції

Потужність ВЕС	0	$P_{\text{ном}}$	$2 \cdot P_{\text{ном}}$	$4 \cdot P_{\text{ном}}$	$6 \cdot P_{\text{ном}}$	$8 \cdot P_{\text{ном}}$	$10 \cdot P_{\text{ном}}$
$I_{\text{к110}}^{(3)}$	2296	2468	2576	2701	2773	2819	2851
$I_{\text{к110}}^{(2)}$	1988	2137	2231	2339	2401	2441	2469

Графічного результати розрахунків представлено на рис. 2.10. Дані залежності носять нелінійний характер подібно до представлених на рис. 2.4 і суттєво відрізняються від квазілінійних залежностей, які зображені на рис. 2.7.

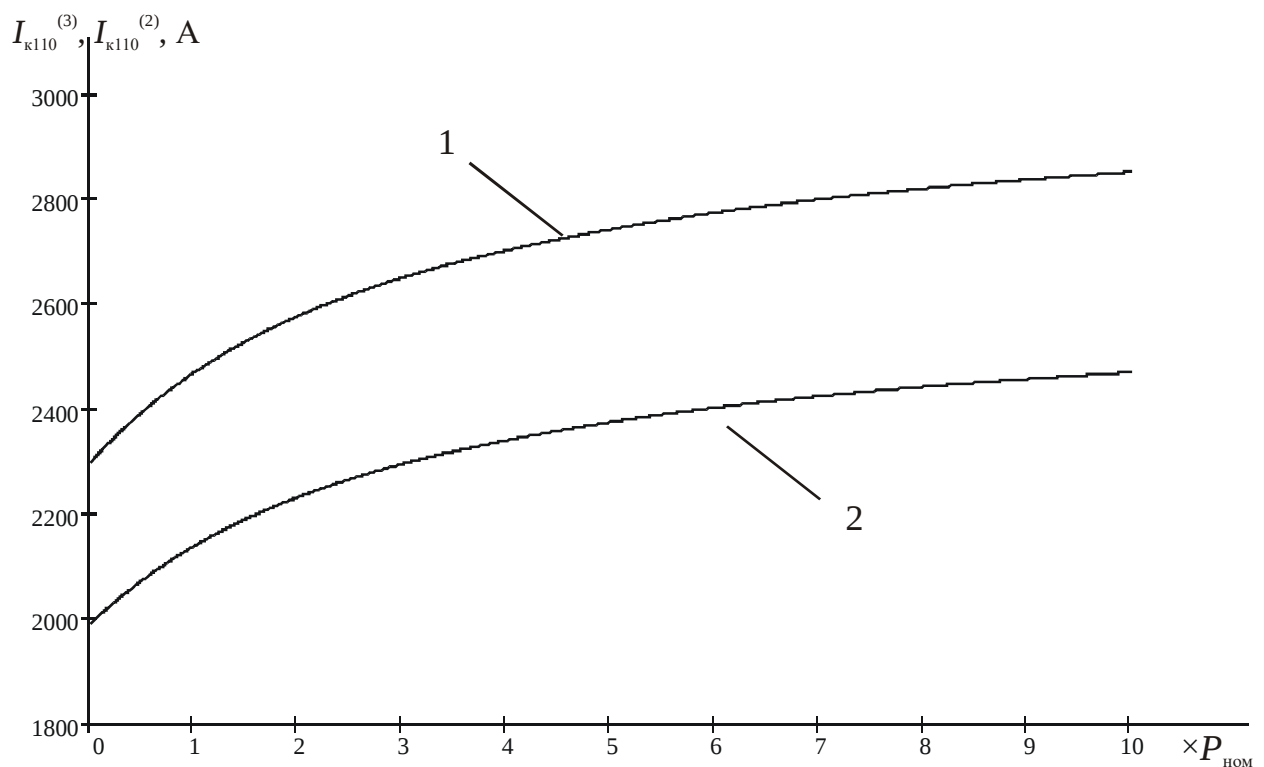


Рис. 2.10. Залежності діючих значень струмів трифазного КЗ на шинах РУ-110 кВ (крива 1) та двофазного КЗ (крива 2) від потужності приєднаної ВЕС

Коефіцієнт прирощення діючого струму трифазного КЗ на шинах 110 кВ тягової підстанції при підключенні до цієї підстанції ВЕС з потужністю $P_{\text{вес}}$ для випадку $P_{\text{вес}} = 10 \cdot P_{\text{ном}}$ по виразу (2.54)

$$K_{\text{к110}(P_{\text{вес}})}^{(3)} = \frac{I_{\text{к110}(P_{\text{вес}})}^{(3)} - I_{\text{к110зовн}}^{(3)}}{I_{\text{к110зовн}}^{(3)}} \cdot 100\%; \quad (2.54)$$

відповідно $I_{\text{к110}(10 \cdot P_{\text{вес}})}^{(3)} = 24,17 \%$.

2.5 Висновки до розділу 2

Проведені у п. 2.1-2.4 дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1 Запропоновані у розділі схеми заміщення електротехнічного комплексу «тягова підстанція-ВЕС» дозволяють прогнозувати вплив потужності приєднаної ВЕС на збільшення струмів трифазного та двофазного КЗ на шинах тягової підстанції через яку здійснюється транзит генерованої потужності до

енергосистеми як у разі однотипних за обладнанням блоків генерації ВЕС, так і у разі використання генеруючого обладнання різних типів.

2. Отримані залежності рис. 2.4, рис. 2.7 та рис. 2.10 та значення коефіцієнтів прирощення струмів КЗ для різних розподільчих установок тягової підстанції свідчать про те, що потужність вітрової електростанції здійснює найбільший вплив на струми КЗ у тій розподільчій установці, до шин якої її приєднано через високовольтну лінію. Зокрема коефіцієнт прирощення струму КЗ для шин РУ-35 кВ отримано максимальним, його значення становить $I_{к35(10 \cdot P_{ВЕС})}^{(3)} = 433,7 \%$. Тому, з позицій забезпечення безперебійності електропостачання тягових споживачів найбільш раціональною точкою приєднання ВЕС у розгляненому діапазоні потужностей є саме шини РУ-35 кВ, через які безпосередньо не здійснюється транзит потужності до тягових навантажень від системи зовнішнього електропостачання. Додатковими позитивними сторонами такого технічного рішення є значно менша вартість електротехнічного обладнання класу напруги 35 кВ у порівнянні з аналогічним обладнанням класу напруги 110 кВ, а отже і порівняно менші капіталовкладення та можливість транзитуювання генерованої потужності ВЕС безпосередньо до нетягових споживачів, які отримують живлення від РУ-35 кВ по відповідних високовольтних лініях, що зменшує завантаженість головного знижувального трансформатора тягової підстанції перетоком потужності від ВЕС.

3. Виконані у п. 2.2-2.4 розрахунки дозволяють оцінити потенціал тягової підстанції ЕЧЕ-23 щодо підключення генеруючих потужностей ВЕС. Зокрема встановлено, що при збільшенні приєднаної потужності ВЕС у 6 разів, струм короткого замикання на шинах РУ-35 кВ досягне значення $I_{к35}^{(3)} = 6220$ А при максимальному стумі відключення захисного вимикача ВМК-35 Б у 6,6 кА, тобто подальше збільшення потужності ВЕС буде потребувати модернізації обладнання РУ-35 кВ. Одночасно розрахунки показують, що при збільшенні номінальної потужності приєднаної ВЕС навіть у 10 разів струми короткого замикання на шинах РУ-10 кВ та РУ-110 кВ відповідно складатимуть

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$I_{\kappa 10}^{(3)}=9115$ А та $I_{\kappa 110}^{(3)}=2851$ А далеко не досягаючи максимальної комутуючої здатності захисних високовольтних вимикачів ВМГ-133-II -600 та МГ-110-600 (13,2 кА та 20 кА відповідно [11]). Отже, обладнання цих розподільчих установок в даній ситуації не потребуватиме модернізації.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ У
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Вимоги безпеки при експлуатації ВЕС

В нашій країні вітроенергетика отримала визнання порівняно нещодавно, тому будь-яких експериментальних даних по екологічному стану прилеглих районів до об'єктів ВЕС мабуть немає. Отже, попередні міркування про вплив першочергових ВЕС на навколишнє середовище в першу чергу спираються на дослідження зарубіжних фахівців. Відповідно до технології виробництва на станції є такі негативні впливи:

- акустичний вплив (шум, інфразвук);
- вплив на лінії зв'язку (електромагнітне випромінювання, перешкоди теле- та радіозв'язку);
- вплив на флору і фауну;
- наявність високої напруги;
- електромагнітні поля великої напруженості;
- недостатність природного освітлення приміщення ГЩУ.

Основні об'єкти можливого впливу ВЕС:

- здоров'я населення прилеглих селищ і персоналу ВЕС;
- фауна;
- флора;
- лінії зв'язку.

3.1.1 Оцінка впливів джерел шума, інфразвука та звуку на ВЕС

До інфразвукових діапазонів відносяться звукові коливання з частотами нижче 20 Гц.

Інфразвук має низку особливостей:

- поширюється на значно більші відстані, ніж шум; через велику довжину хвилі вільно обгинаються перешкоди, екрани;
- може посилюватися за будівлями;
- може посилюватися в приміщенні при закритих дверях і вікнах.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

"Гігієнічні норми інфразвуку на робочих місцях" №2274-90 [13] , що встановлюють гранично допустимі рівні інфразвуку по загальному рівню 110 дБ і 105 дБ в октавних смугах частот 2, 4, 8, 16 Гц; для частоти 31,5 Гц як ненормований в звуковому діапазоні встановлений рівень 102 дБ. Допустимі рівні інфразвуку на території житлової забудови становить 90 дБ відповідно до "Санітарних норм допустимих рівнів інфразвуку і низькочастотного шуму на території житлової забудови" №4948-89 [14].

Інфразвук рівнем більше 100 дБ справляє негативний вплив на центральну нервову систему, серцево-судинну систему, об'єктивне самопочуття. При цьому індивідуальна чутливість до інфразвуку у людей різна. При дії інфразвуку інтенсивністю 180 дБ (частота 7 Гц) протягом 15 хв. Можна отримати серйозну травму всього організму.

Больовий поріг знаходиться на рівні для частоти 2-3 Гц - 165 дБ, 10 Гц - 148 дБ, 15-20 Гц 140 дБ, 100 Гц - 120 дБ.

Коливань частотою 1-100 Гц інтенсивністю до 150 дБ при експозиції від 25 с до 2 хв, знаходиться в межах людської виноситься, більше 150 дБ - зовсім нестерпний.

Звук – це енергія, що поширюється в тому чи іншому середовищі з різними швидкостями (в повітрі зі швидкістю 340 м / с). Чутні людиною звуки знаходяться в частотних межах від 20 Гц до 20 кГц. Звуки з частотою до 20 Гц – інфразвуки, понад 20 кГц – ультразвуки. Вони не сприймаються людським слухом, але істотно впливають на його самопочуття. Поняття звуку і поняття шуму різні. Шумом є неритмічне звукоутворення безладне змішання звуків.

Найменший поріг сили звуку, що сприймається людським вухом, дорівнює 1 дБ. Тихий шепіт на відстані 1,5 м оцінюється в 10 дБ, тиха розмова в 40 дБ, розмова середньої гучності 50 дБ. Порогова витривалість людського вуха, прийнята на основі больових відчуттів, дорівнює 130 дБ.

Шум від ВЕС залежить від її потужності і розмірів. Він поділяється на 2 категорії:

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

- Механічний шум від генератора, підшипників та інших з'єднань. Він не перевищує нормованого значення.
- Аеродинамічний шум, який створюється обертанням лопатей. Один компонент цього шуму широкодіапазонний, який лежить в межах до декількох кГц і створює ритмічний свистячий звук. Інший компонент створює коливання, що викликають низькочастотні резонансні шуми.

Також не перевищує нормованого значення. З двох критеріїв домінуючим є перший.

3.1.2 Електромагнітне випромінювання і перешкоди теле-радіозв'язку

Істотне значення мають перешкоди, викликані відбиттям електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін. Вони можуть позначатися на якості телевізійних і мікрохвильових радіокомунікацій.

Найбільш радикальний спосіб зменшення перешкод - це видалення вітрового парку на відповідну відстань від комунікацій. У ряді випадків перешкоди можна уникнути установкою ретрансляторів.

Лопаті з провідних матеріалів надають більший вплив на електромагнітне випромінювання, ніж лопаті з електроізоляційних матеріалів. Велике значення в цьому випадку має геометрія лопатей.

3.1.3 Завдання та обов'язки по категорії тяжкості на робочому місці диспетчера станції.

Роботи, що виконуються черговим станції, відносяться до категорії Іб . Це роботи вироблені сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і супроводжуються нервово-емоційним напруженням. Енерговитрати при цьому досягають 172 Дж/с .

Приміщення в якому розташоване робоче місце диспетчера станції, знаходиться в загальностанційному пункті управління (ОПУ). Площа приміщення становить 50 м², висота – 5 м. Є два вікна площею 6 м². приміщення розраховане на одного чергового при цілодобовому чергуванні. Вентиляція природна. Для опалення в холодний період року використовуються побутові електронагрівальні прилади.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

3.2 Дія працівників(персоналу) в аварійних(надзвичайних ситуаціях

3.2.1 Заходи пожежної безпеки при проведенні

вогневих робіт на об'єктах станції і під час пожежі

Керівником гасіння пожежі на енергооб'єкті до прибуття першого пожежного підрозділу є старший зміни (начальник зміни, черговий інженер станції) або керівник енергооб'єкта.

Після прибуття першого пожежного підрозділу старший зміни (керівник енергооб'єкта) повинен інформувати про вжиті заходи щодо гасіння пожежі старшого командира пожежного підрозділу і передати йому керівництво гасінням пожежі видачею письмового допуску.

Якщо палаюча електроустановка не відключили і знаходиться під напругою, то гасіння її становить небезпеку ураження електричним струмом. Як правило, гасити ручними засобами пожежа електроустаткування слід при знятому з нього напрузі. Якщо чомусь зняти емоційну напругу неможливо, то допускається гасіння установки, що знаходиться під напругою, але з дотриманням особливих заходів електробезпеки, які передбачені Інструкцією по гасінню пожеж в електроустановках електростанцій і підстанцій.

Гасіння пожеж ручними засобами в сильно задимлених приміщеннях енергооб'єктів з проникненням в них без зняття напруги не допускається.

При пожежі трансформатора він повинен бути відключений з усіх боків, після чого негайно слід приступати до гасіння повітряно-механічною піною, розпорошеною водою або вогнегасниками. Палаюче масло не слід гасити компактною водяний струменем, щоб уникнути збільшення площі пожежі. При гасінні трансформатора, встановленого в камері, необхідно попередити поширення пожежі через вентиляційні та інші канали.

При загорянні кабелів, розташованих в тунелях, каналах та інших приміщеннях, при наявності стаціонарної установки пожежогасіння необхідно її включити в роботу. При гасінні палаючих кабелів напругою вище 1 кВ в кабельному тунелі працюючий з пожежним стволом повинен направляти струмінь води через дверний проріз або люк, не заходячи в відсік з палаючими

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

кабелями. Одночасно необхідно вжити заходів до якнайшвидшого зняття напруги.

На кожному підприємстві повинен проводитися протипожежний інструктаж знову прийнятих на роботу, який проводить начальник місцевої пожежної охорони або інструктор з пожежної профілактики. На об'єктах, які не мають спеціальної пожежної охорони первинний інструктаж проводить інженерно-технічний працівник, добре знайомий з питаннями пожежної безпеки.

Перед виробництвом вогневих робіт на ємностях або всередині їх і на трубопроводах, в яких знаходилися легкозаймисті та горючі матеріали, вони повинні відключатися від усіх комунікацій і виконуватися наступні заходи:

- закриватися найближчі засувки і вивішуватися плакати;
- віддалятися залишки, які перебувають в них речовин;
- організовувати пропарку і промивку пожежобезпечними розчинами.

При проведенні вогневих робіт забороняється:

- приступати до роботи при несправній апаратурі;
- проводити роботи ближче 5 м від і на свіжопофарбованих конструкціях до повного висихання фарби;
- починати роботи при неізольованих з'єднаннях зварювальних проводів;
- користуватися одягом і рукавицями зі слідами масел, жирів і інших горючих рідин.

При аваріях зварювальні та інші вогневі роботи проводяться без видачі наряду, але під безпосереднім наглядом начальника цеху або за його вказівкою іншим відповідальною особою даного цеху.

У зв'язку з установкою на території станції маломасляних вимикачів, а також наявності пожежонебезпечних приміщень передбачається комплекс протипожежних заходів і пожежного захисту [15].

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

3.2.2 Захист населення і території в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення надійного захисту робітників і службовців станції досягається трьома основними способами:

- укриттям робітників і службовців об'єктів енергетики, які продовжують роботу у воєнний час, в захисних спорудах цивільної оборони;
- розосередження робітників, службовців і евакуацією членів їх сімей;
- використанням засобів індивідуального захисту.

Захист основних виробничих фондів станції досягається наступними способами:

- підвищенням певною мірою опірності будівель, споруд впливу ударної хвилі, світлового випромінювання;
- укриттям найбільш уразливого обладнання в пасивних кранах, в захисних пристроях;
- частковою зміною технології виробництва теплової та електричної енергії;
- вивезенням в безпечні райони надлишків вибухо- і пожежонебезпечних речовин.

Розглянемо деякі способи і заходи, що підвищують стійкість роботи об'єктів енергетики, які здійснюються в мирний час, в період загрози та при раптовому нападі противника.

Захист найбільш уразливих елементів обладнання може бути виконана наступними способами:

- підвіскою над ними металевих мереж до фермам покрівлі для захисту від падаючих елементів пошкодженої покрівлі;
- установкою платформ мостових кранів, що захищають вразливе обладнання і підвищують просторову жорсткість будівлі, цехи;
- установкою захисних пристроїв (парасольок, камер, наметів та інших).

Підвищення стійкості гідроізоляції покрівлі до впливу світлового випромінювання можна виконати побілкою вапняної емульсії. Додання темної покрівлі світлого тону підвищить її стійкість до впливу світлового

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

випромінювання не менше ніж в 1,5..2 рази, що виключить займання руберойду, толі при світловому імпульсі 670 кДж / м², відповідному приблизно надлишкового тиску у фронті ударної хвилі 20 кПа.

Додання світлого тону резервуарів з мазутом, трансформаторним маслом, баків трансформаторів, масляним вимикачів підвищить їх стійкість до впливу світлового випромінювання.

Підвищити стійкість покрівлі будівель до впливу світлового випромінювання можна установкою перфорованих труб для зрошення гідроізоляції теплою водою, яка надходить від системи автоматичного пожежогасіння, що спрацьовує по тепловому випромінюванню ядерного вибуху.

Оперативно диспетчерський персонал в воєнний час повинен у складній обстановці масових аварій приймати швидкі рішення по прискореній подачі електричної енергії споживачам першої категорії, відновленню нормального функціонування об'єктів. Він повинен детально знати схеми зв'язків, електропостачання, способи створення тимчасових схем.

Найбільш трудомісткі роботи, що вимагають великих матеріальних і фінансових витрат (будівництво притулків, протирадіаційних укриттів, заміна спалимої покрівлі на неспалену, заглиблення в землю резервуарів з мазутом, маслом, ємностей з сильнодіючими отруйними речовинами та інші) виконуються в мирний час будівельними, монтажними організаціями при розширенні, реконструкції об'єкта.

Електромагнітний імпульс ядерного вибуху, як вражаючий фактор, здатний поширюватися на десятки і сотні кілометрів по лініях електропередачі, зв'язку, трубопроводів. Він може впливати на об'єкти енергетики там, де ударна хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація втрачає своє значення як вражаючі фактори.

На станції створена група штабу цивільної оборони, в яку входять начальники служб оповіщення та зв'язку, протирадіаційного і протихімічного захисту, сховищ і укриттів, медична, охорони громадського порядку [16].

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

3.3 Висновки до розділу 3

В даному розділі дипломного проекту виявлені шкідливі виробничі фактори: акустичний вплив (шум, інфразвук), вплив на лінії зв'язку (електромагнітне випромінювання, перешкоди теле- та радіозв'язку), вплив на флору і фауну, наявність високої напруги, електромагнітні поля великої напруги. Проаналізовано фактори впливу на навколишнє середовище, за результатами аналізу прийняті рішення щодо забезпечення безпеки праці.

Розглянуто питання забезпечення мікроклімату на робочому місці диспетчера станції. В результаті розрахунків встановлено, що необхідна установка кондиціонерів на місці роботи диспетчера. Розраховано штучного освітлення приміщення ГЩУ станції. Виконано розрахунок заземлення ВРП-110 кВ.

Запропоновано технічні заходи пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт на об'єктах станції і під час пожежі; описана захист населення і території в надзвичайних ситуаціях.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

Наприкінці роботи на підставі викладеного вище вважаємо за необхідне викласти наступні висновки.

1. За останніми даними відсотки електричної енергії від ВДЕ складають 0,81 % (електроенергія генерована ВЕС) та 0,75 % (електроенергія генерована СЕС) від загального обсягу закупівлі електроенергії структурними підрозділами ПАТ «Українська залізниця». З одного боку, це у відсотковому співвідношенні більше ніж в цілому по ДП «Енергоринок», проте абсолютні значення вказаних показників свідчать, що проблематика застосування «зеленої енергетики» для потреб електротяги знаходиться зараз лише на початкових стадіях розв'язання а отже теоретичні та експериментальні дослідження в цій області є на сьогодні актуальними.

2. Як свідчить карта вітрових зон України, середня швидкість вітру на переважній частині території нашої країни складає 6-8 м/с на висоті 80 м над поверхнею ґрунту. Це свідчить про значний потенціал для вітроенергетики в Україні особливо з урахуванням значних площ території вільної від будівель та інших об'єктів життєдіяльності людини.

3. Оцінювання обсягу необхідної модернізації елементів системи тягового електропостачання залізниць і зокрема планування коштів капіталовкладення у тягові підстанції під час підключення до них ВДЕ суттєвим чином пов'язані з прогнозуванням впливу ВЕС або СЕС на струми короткого замикання в розподільчих установках тягових підстанцій. Такий прогноз доцільно проводити на основі математичного моделювання електромагнітних процесів електротехнічного комплексу «тягова підстанція-ВДЕ» в аварійних режимах.

4. Для здійснення зазначеного моделювання у роботі запропоновані схеми заміщення на основі технічних рішень, які реалізовано у електротехнічному комплексі «тягова підстанція ЕЧЕ-23 Львівської залізниці-ВЕС Старий Самбір». Ці схеми дозволяють прогнозувати вплив потужності приєднаної ВЕС на збільшення струмів трифазного та двофазного КЗ на шинах тягової підстанції через яку здійснюється транзит генерованої потужності до

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

енергосистеми як у разі однотипних за обладнанням блоків генерації ВЕС, так і у разі використання генеруючого обладнання різних типів.

5. У якості узагальнюючого показника описаного вище впливу у роботі запропоновано використовувати так званий коефіцієнт прирощення струму короткого замикання при підключенні ВЕС певної потужності. Отримані у розділі 2 залежності та значення коефіцієнтів прирощення струмів КЗ для різних розподільчих установок тягової підстанції аналогічної до ЕЧЕ-23 свідчать про те, що потужність вітрової електростанції здійснює найбільший вплив на струми КЗ у тій розподільчій установці, до шин якої її приєднано через високовольтну лінію. Зокрема коефіцієнт прирощення струму КЗ для шин РУ-35 кВ отримано максимальним, його значення становить $I_{\kappa 35(10 \cdot P_{\text{ВЕС}})}^{(3)} = 433,7\%$. Тому, з позицій забезпечення безперебійності електропостачання тягових споживачів найбільш раціональною точкою приєднання ВЕС у розглядуваному діапазоні потужностей є саме шини РУ-35 кВ через які безпосередньо не здійснюється транзит потужності до тягових навантажень від системи зовнішнього електропостачання

6. Виконані у розділі 2 розрахунки дозволяють у якості прикладу також оцінити потенціал тягової підстанції аналогічної до ЕЧЕ-23 щодо підключення генеруючих потужностей ВЕС. Зокрема встановлено, що при збільшенні приєднаної потужності ВЕС у 6 разів, струм короткого замикання на шинах РУ-35 кВ досягне значення $I_{\kappa 35}^{(3)} = 6220$ А при максимальному струмі відключення захисного вимикача ВМК-35 Б у 6,6 кА, тобто подальше збільшення потужності ВЕС буде потребувати модернізації обладнання РУ-35 кВ. Одночасно розрахунки показують, що при збільшенні номінальної потужності приєднаної ВЕС навіть у 10 разів струми короткого замикання на шинах

РУ-10 кВ та РУ-110 кВ відповідно складатимуть $I_{\kappa 10}^{(3)} = 9115$ А та $I_{\kappa 110}^{(3)} = 2851$ А далеко не досягаючи максимальної комутуючої здатності

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

захисних високовольтних вимикачів ВМГ-133-II -600 та МГ-110-600 (13,2 кА та 20 кА відповідно). Отже обладнання цих розподільчих установок в даній ситуації не потребуватиме модернізації.

7. Важливим фактором з точки зору розширення використання електроенергії ВЕС для живлення СТЕ залізниць України є необхідність проведення досліджень у сфері забезпечення гігієнічних вимог щодо рівнів шуму, інфразвуку та звуку в місцях розташування ВЕС та забезпечення електромагнітної сумісності її електрообладнання з системами автоматики та телемеханіки залізниць, обмеження електромагнітного впливу такої електростанції на обслуговуючий персонал й населення в місці розташування, тощо.

8. Безумовно можна вважати, що подальших досліджень потребує також і питання забезпечення стійкості енергетичної системи України у разі зростання обсягів генерованої ВДЕ електроенергії. Стосовно системи тягового електропостачання залізниць це імовірно потребуватиме розробки моделей електротехнічних комплексів з накопичувачами електроенергії на основі суперконденсаторів або літій-іонних батарей.

					0024.ДМР.20.09.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Огурцов Е. С. Исследование комбинированных электродинамический ветрогенераторов с вертикальной и горизонтальной осью [Текст] / Е. С. Огурцов // Известия ЮФУ – 2009. – С. 207-215.
- 2) Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2017 рік [Електрон. ресурс] режим доступу – https://www.uz.gov.ua/about/investors/financial_statements/kfp/
- 3) Бондар І. Л. Електричні системи та мережі нетягових сподивачів залізничного транспор-ту [Текст]: Навч.посібник. / І. Л. Бондар, О. І. Бондар, В. Г. Сиченко. – Д.: Вид-во Маковецький, 2009. – 180 с.
- 4) Линьков С.А. Перспективы развития ветроэнергетики в России и за рубежом [Текст] / С. А. Линьков, А. С. Сарваров, И. В. Бачурин. – Д.: Вид-во Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2013. – С. 220-225.
- 5) Лукутин Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями [Текст] / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. –Д.: Вид-во Национальный исследовательский Томский политехнический университет 2015. 130 с.
- 6) Під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж. Порядок та вимоги. ГКД 341.003.001-2000 [Електрон. ресурс] режим доступу – http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54260
- 7) ВЕС “Старий Самбір-1” в природі немає нічого зайвого [Електрон. ресурс] режим доступу – http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/USELF-2_Launch_Event_Kozytskyi_ukr_140627.pdf
- 8) Vestas 4MW Product Brochure Vestas Wind Systems A/S [Електрон. ресурс] режим доступу – https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/v112-3_45_mw#!at-a-glance
- 9) Прохорский А.А. Тяговые и трансформаторные подстанции [Текст]: Учеб. для техникумов ж.д. трансп. - 4-е изд. 1983г. 496с

					0024.ДМР19.01.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 10) РД 153-34.0-20.527-98 РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ВЫБОРУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ: [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294817/4294817179.pdf>
- 11) Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 608 с.
- 12) Эрнст А.Д. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: Учеб. пособие - Нижневартовск: Изд-во НГГУ, 2012. - 86с
- 13) "Гігієнічні норми інфразвуку на робочих місцях" №2274-90 [Електрон. ресурс] – Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>
- 14) "Санітарні норми допустимих рівнів інфразвуку і низькочастотного шуму на території житлової забудови" №4948-89 [Електрон. ресурс] Режим доступу – http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66167
- 15) Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій, постанова КМУ. № 1099, 1998 р., Київ [Електрон. ресурс] Режим доступу – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1099-98-%D0%BF#Text>
- 16) НАОП 5.1.11-1.41-78 «Правила пожежної безпеки» (ЦУО - 3725). «Правила пожежної безпеки в Україні» [Електрон. ресурс] режим доступу – К.:Укрархбудінформ, 1995. – Режим доступу: <https://dnaop.com/doc/31755.doc>

					0024.ДМР19.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55