

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Модернізація комплексної системи релейного захисту силового
трансформатора в умовах ПС КРЗ-9 154/6 кВ
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Виконав: здобувач групи ЕЕМ-20 _____ Сергій ХУДОРОЖКОВ

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Олексій МИХАЙЛЕНКО

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Олексій МИХАЙЛЕНКО

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2024

Факультет: *електротехнічний*

Освітній рівень: *бакалавр*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Худорожкова Сергія Руслановича

1. Тема роботи: Модернізація комплексної системи релейного захисту силового трансформатора в умовах ПС КРЗ-9 154/6 кВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
2. Строк подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: удосконалити системи релейного захисту силового трансформатора ПС КРЗ-9
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити): характеристика електроспоживачів КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; характеристика ПС КРЗ-9 і обґрунтування проєктно-конструкторської розробки; технічні характеристики електроспоживачів; визначення електричних навантажень та вибір силових трансформаторів; розрахунок струмів короткого замикання; розрахунок уставок мікропроцесорного реле МіСОМ Р64х для захисту силового трансформатора
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема електропостачання ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; план відкритого розподільного пристрою 154 кВ ПС КРЗ-9; добовий графік електричних навантажень ПС КРЗ-9; однолінійна схема системи електропостачання ПС КРЗ-9; захист трансформатора із залученням мікропроцесорних реле, як-то МіСОМ Р64х

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олексій МИХАЙЛЕНКО		
II	Олексій МИХАЙЛЕНКО		
III	Олексій МИХАЙЛЕНКО		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Загальна частина	29.05.24–10.05.24
2	Спеціальна частина	11.05.24–17.05.24
3	Проектно-конструкторська розробка	18.05.24–29.05.24
4	Оформлення пояснювальної записки	30.05.24–10.06.24
5	Оформлення презентації	11.06.24–17.06.24

Дата видачі завдання: 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____

Сергій ХУДОРОЖКОВ

Керівник роботи _____

Олексій МИХАЙЛЕНКО

Реферат

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра:
___ с., ___ рис., ___ табл., ___ джерело.

У роботі було створено проєкт модернізації ПС КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» забезпечення надійного електропостачання споживачів. Особлива увага приділена

Спочатку було здійснено аналіз існуючої електричної мережі та обладнання підстанції. Визначено характеристики ліній електропередачі, що живлять підстанцію, та оцінено стан наявного обладнання. Також було детально вивчено категорії та потужність споживачів, що підключені до підстанції, щоб зрозуміти поточне навантаження на систему.

Далі було розраховано навантаження на підстанцію. Для цього було зібрано та проаналізовано дані про споживання електроенергії за добу. На основі цих даних визначено максимальне, середнє та мінімальне навантаження на підстанцію. Було також побудовано добові графіки навантаження за активною і реактивною потужностями, що дало можливість краще зрозуміти пікові навантаження.

Окрему увагу приділено розрахунку потужності трансформаторів. Було визначено необхідну номінальну потужність трансформаторів, щоб забезпечити безперебійне електропостачання всіх споживачів підстанції. Також було розглянуто питання резервування, що передбачає наявність додаткових трансформаторів для випадків аварійних відключень або технічного обслуговування.

Проведено вибір та розрахунок комутаційного обладнання. На основі розрахованих навантажень було підібрано відповідні вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники та інше обладнання. Цей етап включав визначення типів і параметрів обладнання, яке найкраще відповідає умовам експлуатації та забезпечить надійність системи електропостачання підстанції КРЗ-9.

Нарешті, розроблена схема захисту силового трансформатору ТРДН-32000/154/6 на базі мікропроцесорних реле MiCOM P642, P643, P645. Обчислені всі налаштування уставок.

Таким чином, виконані розрахунки та аналіз дозволили створити оптимальний проєкт системи електропостачання підстанції, що відповідає всім вимогам щодо надійності, безпеки та ефективності.

Ключові слова: електропостачання, металургійний комбінат, підстанція, трансформатор, релейний захист.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
1 Загальна частина	9
1.1 Відомості про підстанцію КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»... 10	
1.2 Види пошкоджень і ненормальних режимів роботи трансформаторів . 16	
1.2.1 Несправність через перегрів	16
1.2.2 Несправності масла та ізоляції обмоток	17
1.2.3 Несправність сердечника	18
1.2.4 Міжфазне замикання.....	18
1.2.5 Несправності бака (рівень масла) і відсутність охолодження.....	19
Висновок до розділу 1	19
2 Спеціальна частина.....	21
2.1 Електричні навантаження ПС КРЗ-9.....	22
2.2 Вибір силових трансформаторів та електричних апаратів	34
2.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережах напругою вище 1 кВ 36	
2.3.1 Розрахунок струмів КЗ на стороні 154 кВ.....	36
2.3.2 Розрахунок струмів КЗ від системи на стороні 6 кВ.....	37
2.4 Вибір вимикачів і роз'єднувачів	41
2.5 Вибір перетину проводів	44
2.6 Конструкторська розробка шинного мосту	47
Висновки до розділу 2	50
3 Проектно-конструкторська розробка	52
3.1 Мікропроцесорний релейний захист силового трансформатора	53

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.2	Вибір релейного захисту силового трансформатору	
	ТРДН-32000/154/6.....	57
3.3	Обчислення уставок релейного захисту	58
3.3.1	Знаходження струму короткого замикання.....	58
3.3.2	Розрахунок максимального струмового захисту (МСЗ)	60
3.3.3	Обчислення захисту від перевантаження	61
3.3.4	Перевірка трансформаторів струму максимального струмового захисту	62
3.3.5	Напруга на вторинній обмотки трансформатора струму.....	63
3.3.6	Диференціальний захист	63
	Висновки до розділу 3	66
	Висновки	67

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

Вступ

Підвищення надійності електропостачання є критичним завданням для будь-якої електричної мережі.

Сучасні блоки мікропроцесорного релейного захисту забезпечують більш точну та швидку реакцію на аварійні ситуації, що дозволяє мінімізувати ризики пошкоджень обладнання підстанцій: трансформаторів, ліній електропередачі тощо. Застарілі системи захисту можуть не забезпечувати належної швидкості та точності спрацьовування, що збільшує ризик тривалих відключень та серйозних аварій.

Мікропроцесорні реле оснащені розширеними можливостями моніторингу та діагностики. Це дозволяє оперативно виявляти та усувати потенційні проблеми до того, як вони переростуть у серйозні несправності. Такий підхід значно зменшує витрати на ремонт та технічне обслуговування, підвищуючи загальну ефективність роботи ПС.

Модернізація релейного захисту сприяє поліпшенню енергетичної безпеки та стабільності. Сучасні системи захисту забезпечують кращу селективність, тобто здатність точно визначати місце виникнення аварії та вимикати лише пошкоджену ділянку мережі, зберігаючи при цьому роботу інших її частин. Це особливо важливо для ПС КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», яка забезпечує електропостачанням критичні інфраструктурні об'єкти металургійного комбінату та інших споживачів з високими вимогами до якості та безперервності електропостачання.

Крім того, модернізація релейного захисту є важливою з точки зору відповідності сучасним стандартам та вимогам галузі. Нові технології та підходи в релейному захисті постійно розвиваються, і їх впровадження на ПС КРЗ-9 дозволить підтримувати високий рівень технічної підготовки та професіоналізму персоналу.

Таким чином, модернізація релейного захисту силового трансформатора на ПС КРЗ-9 є важливою інвестицією у підвищення надійності, безпеки та ефективності роботи всієї електричної мережі, що в кінцевому підсумку

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

сприятиме стабільному та безперебійному електропостачанню виробничих і міських споживачів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1 Загальна частина

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Загальна частина	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Худорожков С.Р.					Н	9	
Перевір.	Михайленко О.Ю.							
Н.контр.	Михайленко О.Ю.							
Затверд.	Пересунько І.І.							
						ЕЕМ-20		

1.1 Відомості про підстанцію КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Структурна схема електропостачання ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» наведена на рис. 1.1.

Підстанція (ПС) КРЗ-9 отримує живлення від ПС «Криворізька» та «Південна». Вона підключена за схемою «глуха відпайка» до дволанцюгової лінії № 145 «ПС Криворізька-КРЗ-2» і № 58 «ПС Південна-КРЗ-2». Довжина лінії № 145 становить 13 км, а лінії № 58 – 20 км. Також ПС КРЗ-9 має резервний ввід від КРЗ-2, по стороні 6 кВ чотирма кабелями перетином 185мм² кожний. Зі сторони ПС КРЗ-2 вмикач увімкнений, а на КРЗ-9 – вимкнений.

Два високовольтних вводи забезпечують високу надійність електропостачання ПС у доаварійному режимі. Погано діє на надійність ПС те, що комутація на високовольтній стороні КРЗ-2 здійснюється за допомогою короткозамикачів і роз'єднувачів. Тому елегазові вимикачі мають бути встановлені на високовольтній стороні ПС КРЗ-2 так само, як це передбачається на ПС КРЗ-9.

У схемі встановлена перемичка на 6 кВ, яка позитивно впливає на надійність електропостачання агломераційно-доменної дільниці. Перемичка з ПС КРЗ-2 забезпечить живлення споживачів доменного виробництва, які необхідні для переведення режиму роботи печей у тихій хід.

ПС КРЗ-9 154/6 кВ створена для електропостачання району запроєктованої доменної печі №8, а також районів діючих доменних печей №6 і №7. Необхідно відмітити, що доменна піч № 8, була самою потужною у світовій практиці.

Потужність споживачів ПС при вводі у дію доменної печі № 8 була визначена у розмірі за 700 кВт або 32000 кВА.

Проєкт ПС розроблений з врахуванням можливості живлення споживачів доменної печі № 9 так як, спорудження окремої ПС глибокого уводу для доменної печі № 9 практично неможливе, як за умовою розташування її на території, так і за умовою приєднання її до мережі 154 кВ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

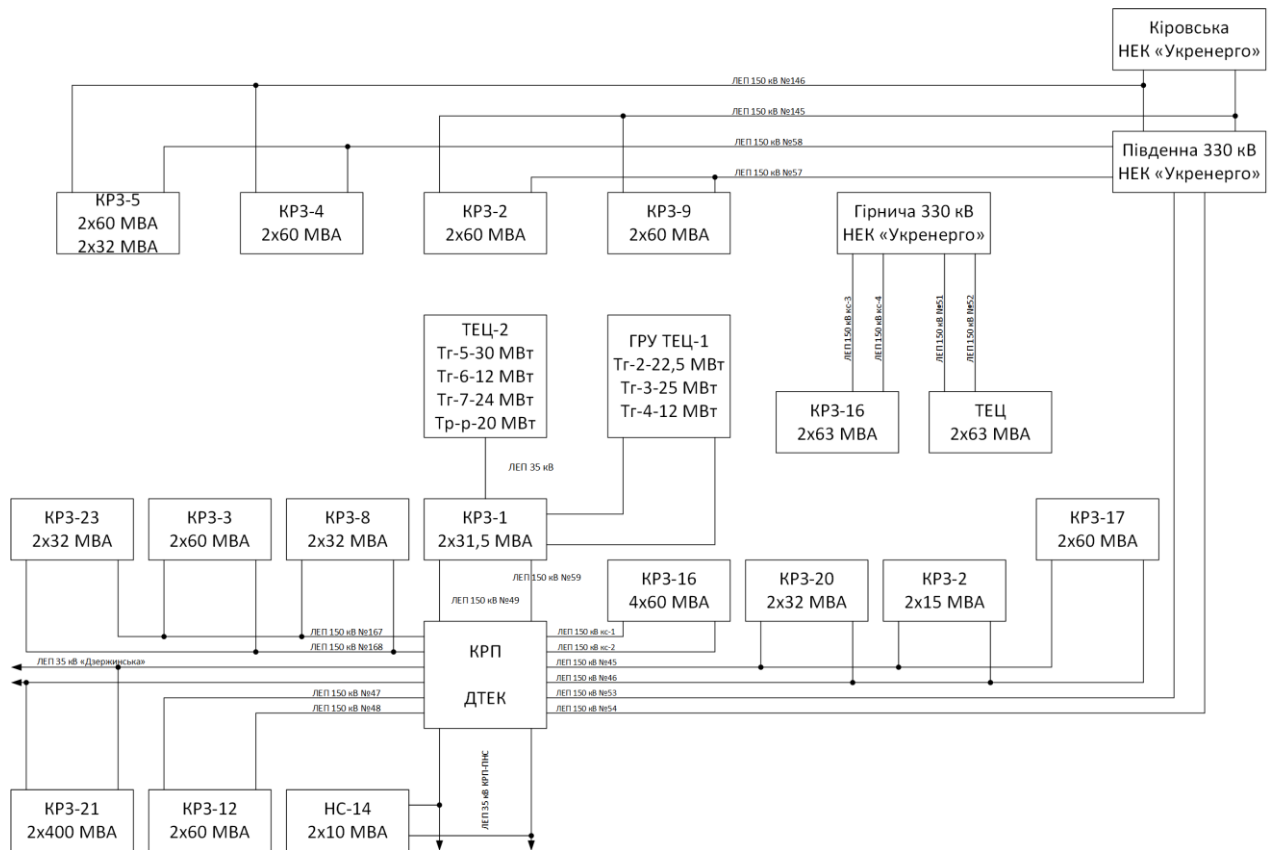


Рисунок 1.1 – Структурна схема електропостачання ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Очікувана потужність ПС при повному розвитку була визначена у розмірі 70000 кВт або 76000 кВА з врахуванням установок конвертованого газу для доменних печей № 8 і № 9.

Як вказувалося вище, у пусковий комплекс доменної печі № 8 передбачалося уведення у дію одного турбогенератора потужністю 12000 кВА газорозширювальної станції.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			11

Необхідно було також врахувати, що враховуючи дослідницький характер використання газорозширювальних турбін і залежність потужності турбогенератора ГРС від технологічних умов виходу газу, генерована ними потужність не буде стабільною, тому їх участь при покритті навантажень на шинах ПС КРЗ-9 прийнято у розмірі біля 50% їх номінальної потужності.

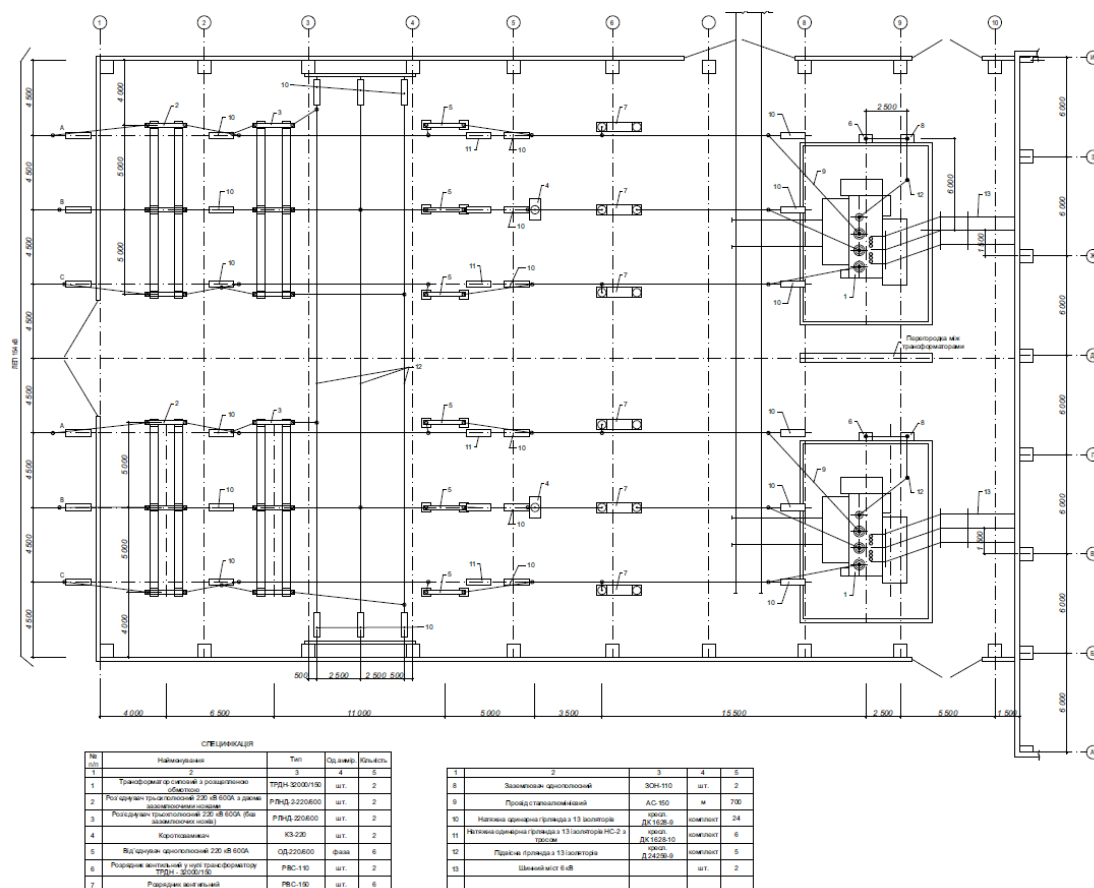


Рисунок 1.2 – План відкритого розподільного пристрою 154 кВ ПС КРЗ-9

ПС проектувалася у складі розподільчих пристроїв 154 кВ та 6 кВ. РП-154 кВ прийнята без збірних шин і встановлення силових вимикачів, а з короткозамикачами і роз'єднувачами.

Пропускна здатність обладнання і шин вибиралася з умов заміни трансформаторів 2x32000 кВА трансформаторами 2x63000 кВА та забезпечення їх стійкості розрахунковими значеннями струмів короткого замикання (КЗ).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27

Арк.

12

На стороні 154 кВ ПС КРЗ-9 підключена за схемою «глуха відпайка» до дволанцюгової лінії №58 «ПС Південна – КРЗ-2» і № 45 «ПС Криворізька – КРЗ-2».

За надійністю електропостачання споживачі доменного цеху відносяться до 1-ї категорії, крім механізмів шихтового двору, бункерної естакади, мостових кранів і рудних перевантажувачів, які відносяться до 2-ї категорії.

ПС (ПС) КРЗ-9 живить ПС агломераційно-доменної дільниці і ПС, які знаходяться за межами ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». На ПС, які живлять доменні печі встановлені перетворювальні агрегати і трансформатори для живлення силових і освітлювальних навантажень змінного струму 380/220 В.

Споживачі ПС КРЗ-9 працюють у трьохзмінному режимі роботи.

Відкрита частина ПС (РП-154 кВ) ангарного типу закритого виконання, для захисту від пилу, який створюють доменні печі під час роботи.

Аварійним режимом для печей є такий режим роботи, при якому отримують резервне живлення від ПС КРЗ-2, через міжстанційну перемичку, лише основні вузли доменних печей, які забезпечують живлення обладнання для підтримки режиму «тихого ходу».

Перелік споживачів ПС наведений у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Споживачі електричної енергії які живляться від ПС КРЗ-9

Номер комірки	Споживач
1, 36	ПС 3Д (живлення кранів складу холодного чавуну)
2, 29	Швидкісний трамвай
3	ЦВ (центральна вентиляція)
4, 30	ПС 2Д-1 (обслуговує ДП-5)
5, 43	ПС 5Д (обслуговує ДП-8)
6	НГ-2 (насос гідрозмиву)
7	Д-6М (димосос ДП-5)
8, 33	НС-13 (насосна шламового цеху)
9, 10	Д-41 (димосос ДП-7, 1 та 2 швидкість)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

12, 27	ПС 4Д (обслуговує ДП-6, ДП-7)
165, 39	1ГЗ (газозбірник)
17, 37	КТТУ (тягова ПС тролейбусу та трамваю)
19	Т-1 бункерної естакади
20	ТВП-1 (трансформатор власних потреб)
21, 41	ПС 5Д «біс» (обслуговує ДП-8)
31	НГ-3 (насос гідрозмиву)
34, 35	Д-42 (димосос ДП-7 1 та 2 швидкість)
38	ТВП-2 (трансформатор власних потреб)
44	Д-1М (димосос ДП-5)
42	НГ-1 (насос гідрозмиву)
40	Т-2 бункерної естакади
14, 15	Перемичка з КРЗ-2
11, 13, 18, 32	Резерв

На рис. 1.3 наведений добовий графік споживання активної і реактивної потужності ПС КРЗ-9 за 15.04.2024 року.

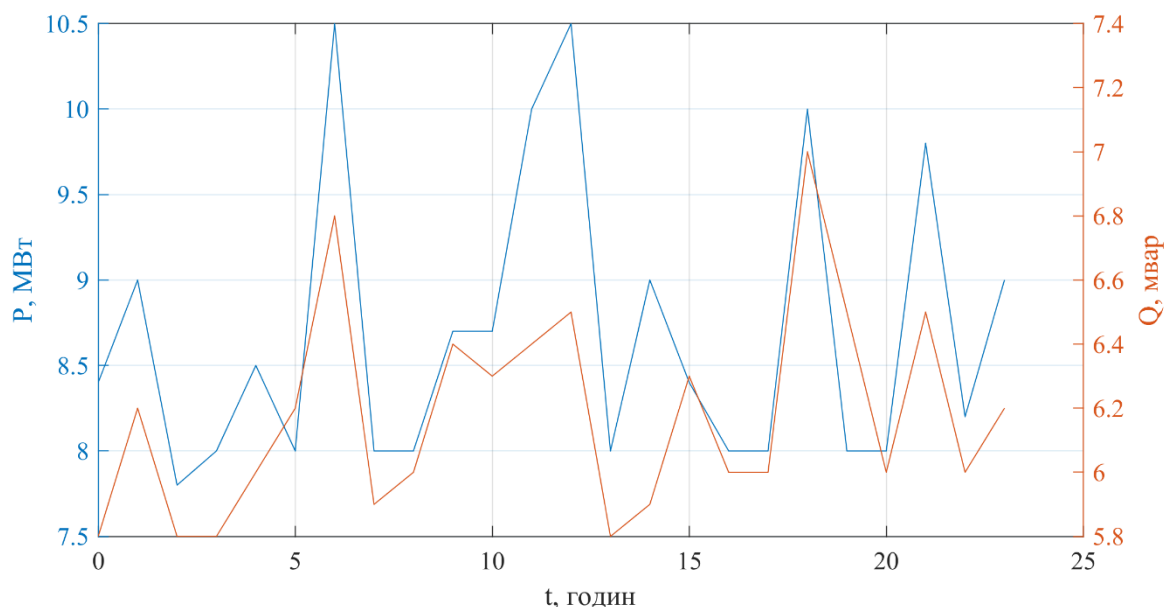


Рисунок 1.3 – Добовий графік електричних навантажень ПС КРЗ-9

Через сталість технологічного процесу форма графіку у літній і зимовий період відрізняються не суттєво.

У табл. 1.2 наведені дані по споживанню активної і реактивної енергії ПС КРЗ-9.

Так як ПС КРЗ-9 живить ПС за межами підприємства і на території аглодоменної дільниці, які у свою чергу передають електричну енергію до великої кількості двигунів доменних печей. Окрім цього на них встановлені генератори постійної напруги з синхронними двигунами (Г-Д).

Таблиця 1.2

Добове споживання активної і реактивної енергії за показами лічильників за 15 квітня 2024 року

№ шафи	Споживач	P, кВт	Q, квар
1	ПС 3Д	5400	5400
2	швидк.тр.	7100	1440
3	ЦВ	3600	-
4	ПС 2Д-1	-	2400
5	ПС 5Д	13000	15000
6	НГ-2	-	-
7	Д-6М	19200	-
8	НС-13	240	-
10	Д-41	12360	-
12	ПС 4Д	14400	25200
16	1ГЗ	28800	27000
17	КТТУ	6480	1440
19	Т-1 ДП-5	720	-
20	ТВП-1	720	-
21	ПС5Д«біс»	11340	15120
27	ПС4Д	16200	21600
29	швидк.тр.	-	-
30	ПС2Д-1	3600	-
31	НГ-3	360	-
33	НС-13	24240	-
35	Д-42	9360	-
36	ПС3Д	5040	1440
37	КТТУ	-	-
38	ТВП-2	720	-

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27

Арк.

15

39	1ГЗ	16200	14400
40	Д-1М	19440	-
41	ПС5Д«біс»	-	-
42	НГ-1	240	-
43	Т-2 ДП-5	-	-
44	ПС 5Д	-	-
10	Увід 1	110286	86400
17	Увід 2	91680	67200
Усього за вводами		201966	201966
Усього за фідерами		197520	100500
Небаланс			P(4446) ≈ (2,3%)

Тому з достатньою мірою точності можна визначити розрахункові електричні навантаження по ПС лише за даними лічильників активної і реактивної енергії відхідних фідерів, знаючи, що майже всі споживачі працюють постійно.

1.2 Види пошкоджень і ненормальних режимів роботи трансформаторів

Трансформатори – це високовольтне обладнання, яке забезпечує передачу та розподіл електроенергії. Його основне призначення – знижувати рівень напруги в енергосистемі. Але, незважаючи на те, що вони є закритими пристроями без обертових частин, вони не є повністю невразливими до несправностей. Якщо ці несправності виникають, то їхнє ігнорування може призвести до катастрофічних наслідків, пошкодивши трансформатор і перешкоджаючи повсякденній роботі.

Щоб уникнути цього, необхідно спочатку ознайомитися з найпоширенішими несправностями трансформаторів, а також з методами їх діагностики та захисту від них.

1.2.1 Несправність через перегрів

Перегрів трансформатора часто виникає через перевантаження, що перевищують допустимі перевантаження, зазначені виробником згідно зі стандартами ІЕС, а також через зовнішні несправності, такі як коротке

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

замикання в установках, розташованих нижче за течією, або відмова системи охолодження. На щастя, більшості несправностей, пов'язаних з перегрівом, можна легко запобігти, проводячи належне технічне обслуговування трансформатора. Однак, якщо проблемою нехтувати, перегрів зазвичай призводить до пошкодження ізоляції обмоток.

Загальні кроки для діагностики цієї проблеми такі:

Перевірте, чи працюють вентилятори охолодження належним чином, а також стан вентиляторів і масляних насосів.

Огляньте радіатор і переконайтеся, що він чистий. Якщо ні, очистіть його від пилу, бруду та інших забруднень, які могли прилипнути до нього.

Визначте, чи немає перевантаження за струмом, перевіривши струм трансформатора та зменшивши навантаження, якщо необхідно, щоб воно відповідало номінальному струму пристрою.

Температура навколишнього середовища може впливати на трансформатор, коли він працює в особливо спекотні дні. У таких ситуаціях рекомендується вмикати станції охолодження.

Охолодження трансформатора відбувається переважно за рахунок оливи. Тому перевірте, чи не вичерпався рівень масла, і за потреби замініть його. Також не забудьте перевірити наявність потенційних витоків, які можуть спричинити проблему.

1.2.2 Несправності масла та ізоляції обмоток

Трансформаторні оливи спеціально розроблені для забезпечення електричної ізоляції в умовах високих електричних полів. Таким чином, значне зниження його діелектричної міцності може означати, що масло більше не придатне для використання. Деякі фактори, які можуть призвести до погіршення діелектричної міцності оливи, включають полярні забруднення, такі як вода і розпад целюлозного паперу.

У разі незначних несправностей, таких як пошкодження ізоляції в стрижневих болтах, локальне перегрівання тощо, дуга спричиняє повільну генерацію газу в оливі, який піднімається в бік консерватора.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

З іншого боку, велика несправність, яка призводить до сильного дугоутворення, швидко вивільнить великий об'єм газу і парів оливи, які не встигнуть втекти. Цей бурхливий розвиток подій, таким чином, витісняє нафту і створює тиск, який змушує нафту витіснитись в розширювач.

По суті, локальний пробій і нагрівання масла є головним винуватцем практично всіх несправностей, що впливають на сердечник і обмотки трансформатора.

1.2.3 Несправність сердечника

Серйозний перегрів виникає, якщо будь-яка частина ізоляції сердечника пошкоджена або структура ламінування сердечника перекрита провідним матеріалом, що дозволяє протікати достатній вихровий струм. Крім того, зверніть увагу на ізольовані болти, що використовуються для затягування сердечника. Порушення їхньої ізоляції може створити легкий шлях для блукаючих струмів, що також сприятиме перегріванню.

1.2.4 Міжфазне замикання

Також відомі як трифазні замикання, ці проблеми не протікають через заземлення і, таким чином, обмежуються лише імпедансом обмотки. Значення цього імпедансу навмисно розраховується в трансформаторному блоці для обмеження максимального струму короткого замикання. Це досягається за рахунок того, що потік реактивного опору виток генерує необхідний для короткого замикання рівень, не пов'язуючи первинну і вторинну обмотки. Диференціальні реле та реле Бухгольца є основними способами усунення цієї несправності.

Щоб діагностувати міжфазне замикання, перевірте, чи відключили пристрої захисту трансформатора і чи випустили масло з баків. Деякі з найпоширеніших причин короткого замикання при цій несправності включають

- Низький рівень масла
- Старіння трансформатора

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Погане масло через забруднення водою
- Висока напруга внаслідок удару блискавки або інших електричних перенапруг

1.2.5 Несправності бака (рівень масла) і відсутність охолодження

Витік масла в трансформаторі може спричинити спалах між торцевими з'єднаннями та обмотками. Коли в баках менше масла, ніж потрібно, це призводить до зниження ізоляції обмоток. Зрештою, несправність бака призводить до аномального підвищення температури трансформатора. Періодично перевіряйте наявність витоків, проводячи візуальний огляд корпусу бака.

Найпоширенішими причинами витоку є:

- Ослаблення гвинтів корпусу бака;
- Корозія на корпусі бака;
- Механічні пошкодження, спричинені сильним ударом по корпусу бака.

З іншого боку, несправність системи охолодження неминуче вплине на продуктивність трансформатора і не дозволить йому працювати на повну потужність. Більшість невеликих трансформаторів, як правило, добре справляються з природним охолодженням, але більші моделі передбачають примусове охолодження в своїй конструкції. Перевірте працездатність системи охолодження трансформатора, щоб переконатися, що вона функціонує належним чином.

Висновок до розділу 1

У першому розділі було здійснено аналіз існуючої електричної мережі та обладнання ПС КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Визначено характеристики ліній електропередачі, що живлять підстанцію, та фідерів. Оцінено стан наявного обладнання. Також було детально вивчено категорії та потужність споживачів, що підключені до підстанції, щоб зрозуміти поточне

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

навантаження на систему. Розглянуто основні види несправностей силових трансформаторів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 Спеціальна частина

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Спеціальна частина	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Худорожков С.Р.				Н	21	
Перевір.		Михайленко О.Ю.						
Н.контр.		Михайленко О.Ю.						
Затверд.		Пересунько І.І.						
						ЕЕМ-20		

2.1 Електричні навантаження ПС КРЗ-9

Схема електропостачання ПС КРЗ-9 зображена на рис. 2.1.

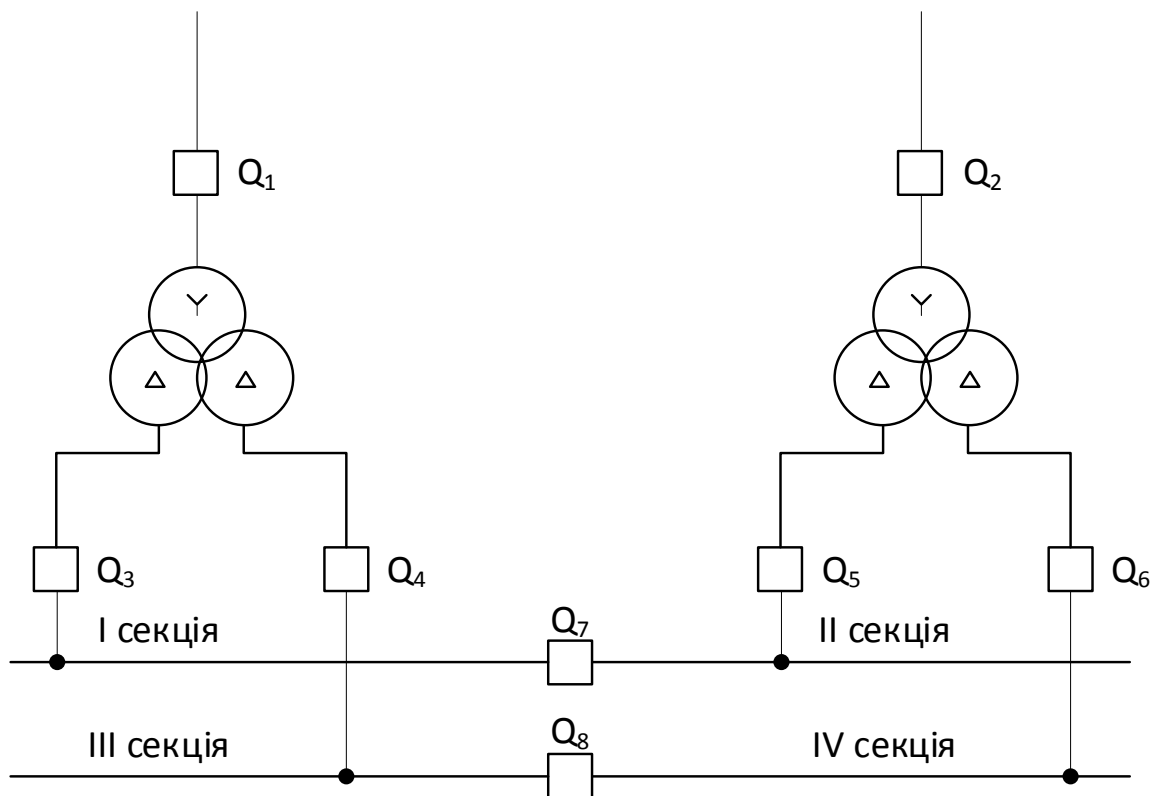


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання ПС

На теперішній час ПС, які живлять доменну піч № 8 не працюють. Це ПС 5Д та 5Д «біс». Обидві вони споживатимуть приблизно 70% енергії, яку споживає ПС 4Д. Ця енергія між ними розподіляється у співвідношенні: 75% – 5Д; 25% – 5Д «біс».

У літній період працює центральна вентиляція з двигуном потужністю 4 МВт; $\cos \phi = 0,8$; $\tan \phi = 0,75$;

$$Q = P \cdot \tan \phi = 4 \cdot 0,75 = 3 \text{ квар}; \quad (2.1)$$

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{4}{0,8} = 5 \text{ МВА}. \quad (2.2)$$

Від ПС живляться насоси гідрозмиву АД $P = 500 \text{ кВт}$ і двошвидкісні димососи:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

I швидкість:

$$P = 500 \text{ кВт}; \cos \phi = 0,88; \tan \phi = 0,539; \\ Q = P \cdot \tan \phi = 500 \cdot 0,539 = 269,5 \text{ квар}; \quad (2.3)$$

$$P = 800 \text{ кВт}; \cos \phi = 0,88; \tan \phi = 0,539; \\ Q = P \cdot \tan \phi = 800 \cdot 0,539 = 431,2 \text{ квар}. \quad (2.4)$$

II швидкість:

$$P = 800 \text{ кВт}; \cos \phi = 0,9; \tan \phi = 0,484; \\ Q = P \cdot \tan \phi = 800 \cdot 0,484 = 387,2 \text{ квар}; \quad (2.5)$$

$$P = 1000 \text{ кВт}; \cos \phi = 0,9; \tan \phi = 0,484; \\ Q = P \cdot \tan \phi = 1000 \cdot 0,484 = 484 \text{ квар}. \quad (2.6)$$

Визначаємо розрахункове навантаження по фідерам. Виконуємо ділення спожитої електричної енергії даним споживачем по двом уводам за добу на 24. Це стосується двигунів гідрозмиву і димососів, бо вони працюють не весь час, а з певною циклічністю. Дані розрахунків зводимо в табл. 2.1.

Для розрахунку очікуваних навантажень припустимо, що працюють усі можливі споживачі ПС і увімкнені всі резервні уводи до них і тому навантаження ПС розподіляється рівномірно по двом уводам. Всі розрахунки введемо в табл. 2.2.

Таблиця 2.1

Розрахункова потужність споживачів

Споживач	Споживання за добу		Розрахункова потужність	
	P, кВт	Q, квар	P, кВт	Q, квар
ПС ЗД	10440	6840	435	285
швидк.тр.	7200	1440	300	60
ЦВ	3600	-	150	-
ПС 2Д-1	3600	2400	150	100
ПС 5Д	-	180	-	7,5

НГ-2	-	-	-	-
Д-6М	19200	-	800	-
НС-13	24480	-	1020	-
Д-41	12360	-	515	-
ПС4Д	30600	46800	1275	1950
ІГЗ	45000	41400	1875	1725
КТТУ	6480	1440	270	60
Т-1 ДП-5	720	-	30	-
ТВП-1	720	-	30	-
ПС5Д біс	-	-	-	-
Д-1М	19440	-	810	-
НГ-1	240	-	10	-
НГ-3	300	-	15	-
Т-2ДП -5	-	-	-	-
Д-42	9360	-	390	-
ТВП-2	720	-	30	-

Таблиця 2.2

Розрахункові навантаження по відходящим фідерам при роботі усіх споживачів (у дужках вказана загальна потужність споживача)

№ шафи	Споживач	P, кВт	Q, квар
1	ПС 3Д	217,5(435)	142,5(285)
2	швидк.тр.	150(300)	30 (60)
3	ЦВ	2000(4000)	1500(3000)
4	ПС 2Д-1	75(150)	50(100)
5	ПС5Д	342(648)	782,2(1564,5)
6	НГ-2	500	269,5
7	Д-6М	800	378,2
8	НС-13	513(1026)	-

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27

Арк.

24

9	Д-41 1 шв.	500	269,5
10	Д-41 2 шв.	1000	484
12	ПС 4Д	637,5(1275)	975(1950)
16	1ГЗ	937,5(1875)	862,5(1725)
17	КТТУ	135(270)	30(60)
19	Т-1 ДП-5	1360	843,2
20	ТВП-1	153	94,86
21	ПС 5Д біс	114(228)	260,75(521,5)
27	ПС 4Д	637,5(1275)	975(1950)
28	ЦВ	2000(4000)	1500(3000)
29	швидк.гр.	150(300)	30(60)
30	ПС 2Д-1	75(150)	50(100)
31	НГ-3	500	269,5
33	НС-13	513(1026)	-
34	Д-42 1 шв.	500	269,5
35	Д-42 2 шв.	1000	484
36	ПС 3Д	217,5(435)	142,5(285)
37	КТТУ	135(270)	30(60)
38	ТВП-2	153	94,86
39	1ГЗ	937,2(1875)	862,5(1725)
40	Д-1М	1000	484
41	ПС 5Д біс	114(228)	260,75(512,5)
42	НГ-1	500	269,5
43	Т-2 ДП-5	1360	843,2
44	ПС 5Д	342	782,2

Планується роздільна робота розщеплених обмоток НН силових трансформаторів і разом з тим розділення резервної системи шин на дві частини і відключення реакторів [1, 2]. Утвориться чотири секції шин. Тому

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

групи комірок будуть підключатися до шин через роз'єднувачі оминаючи реактори.

Розрахунки по визначенню навантажень зведемо в табл. 2.3.

Для визначення розрахункових електричних навантажень ПС введемо є режимів споживання електроенергії, навантаження при яких змінюється у залежності від того які електроприймачі працюють [3].

Класифікація режимів електроспоживання:

- min - працюють від ПС крім АД гідрозмиву, димососів, ЦВ і споживачів ДП-8;
- ном - працюють від ПС, всі АД гідрозмиву, димососів, ЦВ крім споживачів ДП-8;
- ном-1 - працюють всі ПС, АД гідрозмиву, димососи на 2 швидкості, крім споживачів ДП-8 і ЦВ;
- ном-2 - працюють всі ПС і АД гідрозмиву, димососи на 2 швидкості, ДП-8 не працює, а ЦВ – працює;
- max - працюють всі ПС, АД гідрозмиву, димососи на 2 швидкості, і споживачі ДП-8 і ЦВ;
- режим max + димососи на 2 швидкості.

Згідно розрахункових максимальна потужність споживачів складатиме:

$$\begin{aligned} S_{\Sigma \max-1} &= S_{\max-II,I} + S_{\max-1,III,IV} = \\ &= 11777,5 + 11433,06 = 23210,56 \text{ кВА}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

При можливому живленні через перемичку ПС КРЗ-2 від КРЗ-9 (4 кабелі перетином 185 мм кожний з $I_{\text{дон}} = 340 \text{ А}$) можна передати не більше, ніж

$$S_{\text{пер}} = 4I_{\text{дон}} \cdot \sqrt{3} \cdot U = 4 \cdot 340 \cdot \sqrt{3} \cdot 6 = 14133,5 \text{ кВА}.$$

$$\begin{aligned} S_{\Sigma \text{роз}} &= S_{\Sigma \max} + S_{\text{пер}} = \\ &= 23210,56 + 14133,5 = 37644,06 \text{ кВА}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розрахункові навантаження при різних режимах електроспоживання

Група комірок № комірки	Номер шини	Режим навантаження	P, кВт	Q, квар	S, кВА
1. № 1,2,3 2. № 4,5,6,7	I	min	442,5	222,5	495,2
		НОМ	1742,5	879,2	1951,7
		НОМ-1	942,5	492	1064
		НОМ-2	2942,5	1992	3553,3
		max	4084,5	3161,4	5165
		max-1	3284,5	2774,2	4299,3
8. № 27,28,29 9. № 30,31,32 10. № 33,34,35 11. № 36,37,38	II	min	1768	1322,3	2207,7
		НОМ	2768	1861,3	3335,6
		НОМ-1	3268	2075,8	3871,5
		НОМ-2	5268	3575,8	6366,9
		max	5768	3900,3	6962,9
		max-1	6268	4114,8	7997,9
1,2,8,9,10,11	I,II	min	2210,5	1544,8	2696,7
		НОМ	4510,5	2740,5	5277,7
		НОМ-1	4210,5	2567,8	4934,7
		НОМ-2	8210,5	5567,88	9920,3
		max	9852,5	7061,7	12121,8
		max-1	9552,5	6889	11777,5
3. № 8,9 4. № 10,11,12,13 5. № 14,15 6. № 16,17,18	III	min	3632	2805,5	4589,3
		НОМ	4132	3075	5150,6
		НОМ-1	4632	3289,5	5681,2
		НОМ-2	4632	3289,5	5681,2
		max	4246	3335,7	5399,5
		max-1	4746	3550,2	5926,9
12. № 39,40,41 13. № 42,43,44	IV	min	2297,2	1705,7	2861,2
		НОМ	2797,2	1975	3424,2
		НОМ-1	3797,2	2459	4523,8
		НОМ-2	3797,2	2459	4523,8
		max	3253,2	3017,7	4437,3
		max-1	4253,2	3501,7	5509,2
3,4,5,6,7,12,13	III,IV	min	5929,2	4511,2	7450,2
		НОМ	6929,2	5050	8574,2
		НОМ-1	8429,2	5748,5	10202,7
		НОМ-2	8429,2	5748,5	10202,7
		max	7499,2	6353,4	9828,7
		max-1	8999,2	7051,9	11433,06

Максимальна розрахункова потужність яку споживає ПС КРЗ-9 становить 23210,56 кВА у нормальному режимі, а при аварійному на КРЗ-2 споживатиме 37644,06 кВА.

Розрахунковий робочий струм живильної лінії у нормальному режимі [4]:

$$I_{pн1} = \frac{S_{mp.}}{\sqrt{3}U_{н1}} = \frac{32000}{\sqrt{3} \cdot 150} = 123,16 \text{ А.} \quad (2.9)$$

Розрахунковий робочий струм уводу в тяжкому (форсованому) режимі при відключенні одного з уводів і живленні ПС КРЗ-2 через перемичку:

$$I_{pф1} = \frac{S_{\Sigma розр.}}{\sqrt{3}U_{н1}} = \frac{37644,06}{\sqrt{3} \cdot 150} = 144,8 \text{ А.} \quad (2.10)$$

Розрахунковий робочий струм увідного вимикача на стороні $U_{н2}$.

Так як у трансформатора розщеплені обмотки працюють окремо, то [4]:

$$S_{об.нн} = \frac{S_{mp}}{2} = \frac{32000}{2} = 16000 \text{ кВА.} \quad (2.11)$$

$$I_{pн2} = \frac{S_{об.нн}}{\sqrt{3}U_{н2}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1539,6 \text{ А.} \quad (2.12)$$

Розрахунковий робочий струм у тяжкому режимі:

$$I_{pф2} = 1,3 \cdot I_{pн2} = 1,3 \cdot 1539,6 = 2001,48 \text{ А.} \quad (2.13)$$

Розрахунковий робочий струм секційного вимикача дорівнює робочому струму секції:

$$I_{p.сек} = \frac{S_{\Sigma розр.}}{2\sqrt{3}U_{н2}} = \frac{37644,06}{2\sqrt{3} \cdot 6} = 1811 \text{ А.} \quad (2.14)$$

Розрахунковий струм електричних двигунів [1–3]:

$$I_{об} = \frac{P}{\sqrt{3}U_{н2} \cdot \cos \phi \cdot \eta}, \quad (2.15)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де для АД $\cos \phi = 0,88$; $\eta = 0,85$; для СД $\cos \phi = 0,9$; $\eta = 0,92$.

Асинхронні двигуни гідрозмиву і димососів:

$$I_{AD500} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 64,3 \text{ А.}$$

Синхронні двигуни димососів:

$$I_{CD800} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,92} = 92,9 \text{ А.}$$

$$I_{CD1000} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,92} = 116,2 \text{ А.}$$

Визначення робочих струмів трансформаторів власних потреб і трансформаторів бункерної естакади [4]:

$$I_{mp1} = \frac{S_{mp.}}{\sqrt{3}U_n}. \quad (2.16)$$

Робочий струм трансформатора власних потреб [4]:

$$I_{ТВП} = \frac{180}{\sqrt{3} \cdot 6} = 17,31 \text{ А.}$$

Розрахунковий робочий струм трансформатора бункерної естакади [4]:

$$I_T = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6} = 153,9 \text{ А.}$$

Компенсація реактивних навантажень здійснюється для зменшення витрат за спожити реактивну потужність і для покращення $\cos \phi$.

Приймаємо для розрахунку середнє значення споживання реактивної потужності у режимах ном-2 і тах, коли працюватиме ДП-8 і ЦВ.

Отже споживання реактивної потужності по шинам складає:

І і ІІ секцій шин:

$$Q_{сер. I, II} = \frac{Q_{ном-2 I, II} + Q_{max I, II}}{2} = \frac{5567,8 + 7061,7}{2} = 6314,75 \text{ квар.} \quad (2.17)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

III і IV секцій шин:

$$Q_{\text{сер. III, IV}} = \frac{Q_{\text{ном-2 III, IV}} + Q_{\text{max III, IV}}}{2} = \frac{5748,5 + 6353,4}{2} = 6050,95 \text{ квар.} \quad (2.18)$$

Середнє значення $\cos \phi$, по шинам, при некомпенсованій реактивної потужності становитиме:

$$P_{\text{сер. I, II}} = \frac{P_{\text{ном-2 I, II}} + P_{\text{max I, II}}}{2} = \frac{8210,5 + 9852,5}{2} = 9031,5 \text{ кВт}; \quad (2.19)$$

$$P_{\text{сер. III, IV}} = \frac{P_{\text{ном-2 III, IV}} + P_{\text{max III, IV}}}{2} = \frac{8429,2 + 7499,2}{2} = 7964,2 \text{ кВт}; \quad (2.20)$$

$$S_{\text{сер. I, II}} = \frac{S_{\text{ном-2 I, II}} + S_{\text{max I, II}}}{2} = \frac{9920,3 + 12121,8}{2} = 11021,05 \text{ кВА}; \quad (2.21)$$

$$S_{\text{сер. III, IV}} = \frac{S_{\text{ном-2 III, IV}} + S_{\text{max III, IV}}}{2} = \frac{10202,7 + 9828,7}{2} = 10015,7 \text{ кВА}; \quad (2.22)$$

$$\cos \phi_{\text{сер. I, II}} = \frac{P_{\text{сер. I, II}}}{S_{\text{сер. I, II}}} = \frac{9031,5}{11021,05} = 0,819; \quad (2.23)$$

$$\cos \phi_{\text{сер. III, IV}} = \frac{P_{\text{сер. III, IV}}}{S_{\text{сер. III, IV}}} = \frac{7964,2}{10015,7} = 0,795. \quad (2.24)$$

Компенсуючі пристрої (КП) розміщуємо на ПС КРЗ-9, у РП-6 кВ.

У нормальному режимі роботи секційні вимикачі увімкнені і дві секції шин (I і II; III і IV) живиться від однієї з розщеплених обмоток низької напруги різних трансформаторів.

Розрахункова потужність усіх КП розраховується таким чином, щоб компенсувати її у режимі max-1.

Тобто реактивна потужність по секціям шин у режимі max-1 складатиме:

I і II секцій шин:

$$Q_{\text{max. I, II}} = 6889 \text{ квар.}$$

III і IV секцій шин:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Q_{\max.III,IV} = 7051,9 \text{ квар.}$$

При компенсації необхідно стежити щоб не було перекомпенсації, тобто лишати певну частину реактивної потужності недокомпенсованою [3, 4]. Перекомпенсація призводить до сильного збільшення рівня напруги. Тоді:

$$Q_{\text{неск.}} - Q_{\text{кп}} = Q_{\text{недок.}} \quad (2.25)$$

де $Q_{\text{неск.}}$ – значення реактивної потужності до КП, квар;

$Q_{\text{кп}}$ – потужність КП, квар;

$Q_{\text{недок.}}$ – реактивна потужність, яка лишається недокомпенсованою, квар.

Для режиму max-1 потужність КП під'єднаних до кожної системи робочих шин становитиме:

I система шин: $450 + 900 + 1350 = 2700 \text{ квар.}$

II система шин: $900 + 1350 + 1800 = 4050 \text{ квар.}$

Загалом $Q_{\text{кп}} = 6750 \text{ квар.}$

III система шин: $900 + 1350 + 1800 = 4050 \text{ квар.}$

IV система шин: $450 + 900 + 1350 = 2700 \text{ квар.}$

Загалом $Q_{\text{кп.I,II}} = 6750 \text{ квар.}$

Отже навіть у режимі max-1 буде частково недокомпенсація, що й треба було підтвердити.

Типи встановлених КП наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Типи компенсуючих пристроїв

Секція шин	Тип та потужність КП	Кількість комірок, шт.
I	УКЛ-6,3-50У1	1
	УКЛ-6,3-900У1	2
	УКЛ-6,3-1350У1	3
II	УКЛ-6,3-900У1	2

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

	УКЛ-6,3-1350У1	3
	УКЛ-6,3-1800У1	4
III	УКЛ-6,3-900У1	2
	УКЛ-6,3-1350У1	3
	УКЛ-6,3-1800У1	4
IV	УКЛ-6,3-450У1	1
	УКЛ- 6,3-900У1	2
	УКЛ-6,3-1350У1	3

Для розрахункового режиму коли споживання реактивної потужності по шинам складає:

I і II секцій шин:

$$Q_{\text{сер. I, II}} = 6314,75 \text{ квар.}$$

III і IV секцій шин:

$$Q_{\text{сер. III, IV}} = 6050,95 \text{ квар.}$$

Потужність увімкнених КП за умови недокомпенсації, на випадок вимкнення якогось потужного споживача по системам шин:

I система шин: $450 + 1350 = 1800 \text{ квар.}$

II система шин: $900 + 1350 + 1800 = 4050 \text{ квар.}$

Загалом $Q_{\text{кп. I, II}} = 5850 \text{ квар.}$

$$Q_{\text{недок. I, II}} = Q_{\text{недок. I, II}} - Q_{\text{кп. I, II}} = 6314,75 - 5850 = 464,75 \text{ квар.}$$

III система шин: 1350 квар

IV система шин: $900 + 1350 + 1800 = 4050 \text{ квар.}$

Загалом $Q_{\text{кп. III, IV}} = 5400 \text{ квар.}$

$$Q_{\text{недок. III, IV}} = Q_{\text{недок. III, IV}} - Q_{\text{кп. III, IV}} = 6050,95 - 5400 = 650,95 \text{ квар.}$$

Завдяки наявності на кожній парі систем шин (I, II і III, IV) КП потужністю 450 квар і 900 квар можна регулювати генеровану реактивну потужність у широких межах, відповідно до режиму електроспоживання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

Середнє значення $\cos\phi$ при компенсуванні реактивних навантажень:

$$S_{\text{сер. I, II}} = \sqrt{P_{\text{сер. I, II}}^2 + Q_{\text{недок. I, II}}^2} = \sqrt{9031,5^2 + 464,75^2} = 9043,4 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{сер. III, IV}} = \sqrt{P_{\text{сер. III, IV}}^2 + Q_{\text{недок. III, IV}}^2} = \sqrt{7964,2^2 + 650,95^2} = 7990,7 \text{ кВА};$$

(2.26)

$$\cos\phi_{\text{сер. I, II}} = \frac{P_{\text{сер. I, II}}}{S_{\text{сер. I, II}}} = \frac{9031,5}{9043,4} = 0,998; \quad (2.27)$$

$$\cos\phi_{\text{сер. III, IV}} = \frac{P_{\text{сер. III, IV}}}{S_{\text{сер. III, IV}}} = \frac{7964,2}{7990,7} = 0,996. \quad (2.28)$$

В електроприймачів, які живляться безпосередньо від шин КРЗ-9 $\cos\phi$ покращиться. А що стосується ПС споживачів, то $\cos\phi$ у них лишився таким, як і був.

Розрахунок робочих струмів КП.

Для I і IV системи шин:

КП1: УКП-6,3-450У1

КП2: УКП-6,3-900У1

КП3: УКП-6,3-1350У1

Розрахунковий робочий струм по кабелям:

$$\text{КЛ1: } I_1 = \frac{S_{1,2,3}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{2700}{\sqrt{3} \cdot 6} = 259,81 \text{ А.}$$

$$\text{КЛ2: } I_2 = \frac{S_{2,3}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{900 + 1350}{\sqrt{3} \cdot 6} = 216,5 \text{ А.}$$

$$\text{КЛ3: } I_3 = \frac{S_3}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1350}{\sqrt{3} \cdot 6} = 129,9 \text{ А.}$$

Вибір перетинів кабелів:

КЛ1: 150 мм² на $I_{\text{дон.}} = 300 \text{ А}$

КЛ2: 95 мм² на $I_{\text{дон.}} = 225 \text{ А}$

КЛ3: 50 мм² на $I_{\text{дон.}} = 150 \text{ А}$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

Струм увідного вимикача:

$$I_{\text{увід}} = I_1 = 259,8 \text{ A.}$$

Для II і III системи шин, згідно рис. 2.1:

КП1: УКП-6,3-900У1

КП2: УКП-6,3-1350У1

КП3: УКП-6,3-1800У1

Розрахунковий робочий струм по кабелям:

$$\text{КЛ1: } I_1 = \frac{S_{1,2,3}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{900 + 1350 + 1800}{\sqrt{3} \cdot 6} = 389,7 \text{ A.}$$

$$\text{КЛ2: } I_2 = \frac{S_{2,3}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1350 + 1800}{\sqrt{3} \cdot 6} = 303 \text{ A.}$$

$$\text{КЛ3: } I_3 = \frac{S_3}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 6} = 173,2 \text{ A.}$$

Вибір перетинів кабелів:

КЛ1: 240 мм² на $I_{\text{дон.}} = 390 \text{ A.}$

КЛ2: 185 мм² на $I_{\text{дон.}} = 340 \text{ A.}$

КЛ3: 70 мм² на $I_{\text{дон.}} = 190 \text{ A.}$

$$Q = \left(\frac{U_{\text{відн.}}}{U_{\text{б.н.відн.}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{ном.}} \quad (2.29)$$

де $U_{\text{відн.}}$ – відносна напруга мережі у місці під'єднання;

$U_{\text{б.н.відн.}}$ – відношення номінальної напруги конденсаторів до номінальної напруги мережі, чутливість до викривлення живильної напруги; недостатня міцність, особливо при КЗ і перевантаженнях.

2.2 Вибір силових трансформаторів та електричних апаратів

До компенсації реактивних навантажень на шинах ПС КРЗ-9 розрахункова максимальна потужність споживачів у режимі max-1 складала

$S_{\Sigma \text{max-1}} = 23210,56 \text{ кВА}$, а при живленні (аварійному) через перемичку

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

споживачів ПС КРЗ-2 споживана потужність може сягнути

$$S_{\Sigma \text{роз.}} = 37644,06 \text{ кВА.}$$

При компенсуванні реактивних навантажень максимальна потужність споживачів у режимі max-1 при умові збереження $\cos \phi$ на рівні не нижче за 0,98 складе:

$$S'_{\Sigma \text{max-1}} = \frac{P_{\text{max-1.I,II}}}{\cos \phi} + \frac{P_{\text{max-1.III,IV}}}{\cos \phi} = \frac{9552,5}{0,98} + \frac{8999,2}{0,98} = 18930 \text{ кВА.} \quad (2.30)$$

А при живленні через перемички ПС КРЗ-9:

$$S'_{\Sigma \text{роз.}} = S'_{\Sigma \text{max-1}} + S_{\text{пер.}} = 18930 + 14133,5 = 33063,5 \text{ кВА.} \quad (2.31)$$

Як видно з вище наведених розрахунків, при компенсації реактивної потужності зменшується розрахункова потужність на яку мають бути розрахункові силові трансформатори.

Тому забезпечення безперебійного електропостачання споживачів на рівні 33063,5 кВА могло б вистачити і двох трансформаторів по 25 МВА при максимальному перевантаженні одного у аварійному режимі:

$$\beta = \frac{33063,5}{25000} = 1,32. \quad (2.32)$$

Це не враховуючи відключення допоміжних споживачів III-ї категорії.

Але у довідниках мається трансформатор ТРДН-25000 на 110 кВ.

Отже залишаємо старі трансформатори ТРДН-32000/154/6.

Режим нормальної роботи - це живлення системи від однієї розщепленої обмотки низької напруги силових трансформаторів і увімкнених секційних вимикачах, увімкнені вимикачі Q1, Q2, Q3, Q6, Q7 і Q8.

При виникненні КЗ на I секції, вимикаються вимикачі увідний Q3 і секційний Q7, з витримкою часу вмикається увідний вимикач Q5 секції II.

При виникненні КЗ на II секції, вимикаються вимикачі Q3 і Q7, але у цьому разі після витримки часу увімкнеться вимикач Q3.

При КЗ на III або IV секції, дія вимикачів аналогічна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Це дає змогу локалізувати пошкодження на шинах.

2.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережах напругою вище 1 кВ

2.3.1 Розрахунок струмів КЗ на стороні 154 кВ

Розрахункова схема для визначення струмів КЗ наведена на рис. 2.2.

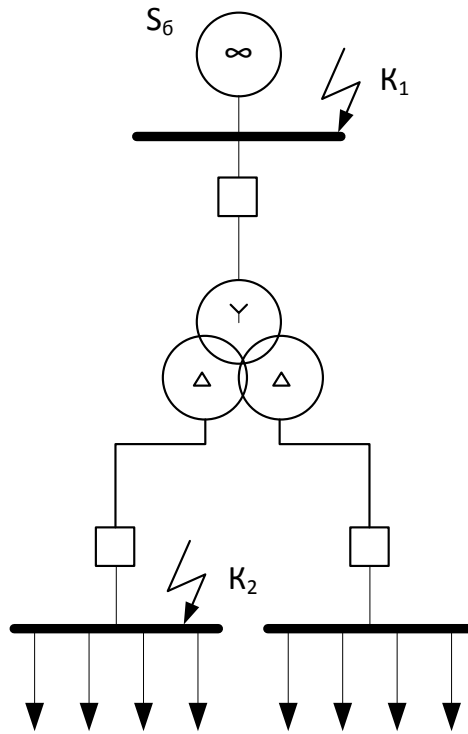


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема для визначення струмів КЗ

Базисний струм на i -й ступіні КЗ:

$$I_{\text{б.}i} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{сер.}i}}, \quad (2.33)$$

де $S_{\text{б}}$ – базисна потужність $S_{\text{б}} = 100 \text{ MVA}$;

$U_{\text{сер.}i}$ – середнє значення напруги, що на 5% перевищує номінальне значення напруги мережі, на i -ступені.

$$U_{\text{сер.}i} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}} = 1,05 \cdot 154 = 157,5 \text{ кВ}; \quad (2.34)$$

$$I_{\text{б.}i} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 157,5} = 0,3666 \text{ А}. \quad (2.35)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27

Арк.

36

Опір системи:

$$X_{*c} = \frac{S_{\sigma}}{S'_{kc}},$$

де $S_{\sigma} = 100 \text{ МВА}$; $S'_{kc} = 6000 \text{ МВА}$.

$$X_{*c} = \frac{100}{6000} = 0,0167. \quad (2.36)$$

За даними лабораторії режимів опори ліній у відносних одиницях:

$$X_{*Л-145} = 0,0269.$$

$$X_{*Л-58} = 0,0348.$$

При розрахунку $I_{кз}$ виходимо з умови, що працює одна лінія [4].

При роботі лінії Л-145 (струм КЗ від системи у точці К1):

$$I_{no} = \frac{I_{\sigma.i}}{X_{*c} + X_{*Л-145}} = \frac{0,3666}{0,0167 + 0,0269} = 8,408 \text{ кА}; \quad (2.37)$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{-t/mac} = \sqrt{2} \cdot 8,408 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,115}} = 10,9 \text{ кА}; \quad (2.38)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{no} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 8,408 = 21,4 \text{ кА}. \quad (2.39)$$

При роботі лінії Л-58:

$$I_{no} = \frac{I_{\sigma.i}}{X_{*c} + X_{*Л-58}} = \frac{0,3666}{0,0167 + 0,0348} = 7,118 \text{ кА}; \quad (2.40)$$

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{-t/mac} = \sqrt{2} \cdot 7,118 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,115}} = 9,228 \text{ кА}; \quad (2.41)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{no} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,118 = 18,119 \text{ кА}. \quad (2.42)$$

2.3.2 Розрахунок струмів КЗ від системи на стороні 6 кВ

Розглянемо діючу схему, коли розщеплені обмотки НН трансформатору з'єднані між собою.

Опір двообмоткового трансформатору $U_n = 10,5\%$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$X_{*m} = \frac{U_{н\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100\% \cdot S_{um}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 32} = 0,3281. \quad (2.43)$$

При роботі лінії Л-145:

$$X_{*\Sigma Л-145} = X_{*m} + X_{*c} + X_{*Л-145} = 0,3281 + 0,0167 + 0,0269 = 0,3717. \quad (2.44)$$

При роботі лінії Л-58:

$$X_{*\Sigma Л-58} = X_{*m} + X_{*c} + X_{*Л-58} = 0,3281 + 0,0167 + 0,0348 = 0,3796. \quad (2.45)$$

Періодична складова I_{K3} від системи у точці К2:

$$I_{n1} = \frac{I_{\bar{\sigma}1}}{X_{*\Sigma}}; \quad (2.46)$$

$$I_{\bar{\sigma}1} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}U_{сер.}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16. \quad (2.47)$$

При роботі лінії Л-145:

$$I_{n1Л-145} = \frac{I_{\bar{\sigma}1}}{X_{*\Sigma Л-145}} = \frac{9,16}{0,3717} = 24,64 \text{ кА}. \quad (2.48)$$

При роботі лінії Л-58:

$$I_{n1Л-58} = \frac{I_{\bar{\sigma}1}}{X_{*\Sigma Л-58}} = \frac{9,16}{0,3796} = 24,13 \text{ кА}. \quad (2.49)$$

Аперіодична складова I_{K3} від системи:

При роботі лінії Л-145:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{n1Л-145} \cdot e^{-t/mac} = \sqrt{2} \cdot 24,64 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 28,52 \text{ кА}. \quad (2.50)$$

При роботі лінії Л-58:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{n1Л-58} \cdot e^{-t/mac} = \sqrt{2} \cdot 24,13 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 27,93 \text{ кА}; \quad (2.51)$$

$$i_{yЛ-145} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n1Л-145} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 24,64 = 62,72 \text{ кА}; \quad (2.52)$$

$$i_{yЛ-58} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n1Л-58} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 24,13 = 61,42 \text{ кА}. \quad (2.53)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розглянемо випадок роздільної роботи обмоток НН силового трансформатора [1, 2].

Опір трансформатора з розщепленими обмотками НН.

$$X_{*m\phi} = \left(\frac{U_{H\%}}{100} - \frac{X_{*розц.}}{4} \right) \cdot \frac{S_{\phi}}{S_{нт}}; \quad (2.54)$$

$$X_{*m} = X_{*m\phi} + X_{*mн1}; \quad (2.55)$$

$$X_{*mн1} = X_{*mн2} = \frac{X_{*розц.}}{2} \cdot \frac{S_{\phi}}{S_{нт}}. \quad (2.56)$$

де $X_{*розц.}$ – опір розщеплення $X_{*розц.} = \frac{(K_{*розц.} \cdot U_{H\%})}{100}$,

де $K_{*розц.} = 3,5$ – коефіцієнт розщеплення

$$X_{*розц.} = \frac{3,5 \cdot 10,5}{100} = 0,3675; \quad (2.57)$$

$$X_{*m\phi} = \left(\frac{10,5}{100} - \frac{0,3675}{4} \right) \cdot \frac{100}{32} = 0,041; \quad (2.58)$$

$$X_{*mн1} = X_{*mн2} = \frac{0,3675}{2} \cdot \frac{100}{32} = 0,5742; \quad (2.59)$$

$$X_{*m} = 0,041 + 0,5742 = 0,6152. \quad (2.60)$$

Загальний опір до точки К2 на шинах КРЗ-9.

При роботі лінії Л-145:

$$X_{*\Sigma,Л-145} = X_{*m} + X_{*c} + X_{*Л-145} = 0,5742 + 0,0167 + 0,0269 = 0,6178. \quad (2.61)$$

При роботі лінії Л-58:

$$X_{*\Sigma,Л-58} = X_{*m} + X_{*c} + X_{*Л-58} = 0,5742 + 0,0167 + 0,0348 = 0,6257. \quad (2.62)$$

Періодична складова $I_{КЗ}$ від системи у точці К2:

При роботі лінії Л-145:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$I_{n1Л-145} = \frac{I_{\bar{6}1}}{X_{*\Sigma,Л-145}} = \frac{9,16}{0,6178} = 14,82 \text{ кА.}$$

При роботі лінії Л-58:

$$I_{n1Л-58} = \frac{I_{\bar{6}1}}{X_{*\Sigma,Л-58}} = \frac{9,16}{0,6257} = 14,64 \text{ кА.}$$

А періодична складова $I_{КЗ}$ від системи:

При роботі лінії Л-145:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{n1Л-145} \cdot e^{-t/mac} = \sqrt{2} \cdot 14,82 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 17,16 \text{ кА.} \quad (2.63)$$

При роботі лінії Л-58:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{n1Л-58} \cdot e^{-t/mac} = \sqrt{2} \cdot 14,64 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 16,95 \text{ кА.} \quad (2.64)$$

$$i_{yЛ-145} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n1Л-145} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 17,16 = 43,68 \text{ кА.} \quad (2.65)$$

$$i_{yЛ-58} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{n1Л-58} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 16,95 = 43,14 \text{ кА.} \quad (2.66)$$

$I_{КЗ}$ від електродвигунів не враховуються. Вони сильно віддалені від точки КЗ.

Для трансформатору ТРДН КРЗ-9 зі з'єднаними розщепленими обмотками НН ударний струм складає 61,42 кА і 62,72 кА, а для трансформатору обмотки якщо працюють окремо, він складає 43,14 кА і 43,68 кА. Отже раціональніше використовувати роздільну роботу обмоток НН, для зменшення ударних струмів.

Тепловий імпульс при вимушеному КЗ:

$$B_k = B_{кл} + B_{ка} = I_{но2} (t_{вим.} + T_{ac}); \quad (2.67)$$

$$t_{вим.} = t_{вч} + t_{pz}, \quad (2.68)$$

де $t_{вч}$ – власний час відключення вимикача;

t_{pz} – час дії релейного захисту ($t_{pz} = 0,01 \text{ сек}$).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для елегазових вимикачів $t_{вим.} = 0,04 + 0,01 = 0,05$ сек, для вакуумних вимикачів $t_{вим.} = 0,06 + 0,01 = 0,07$ сек.

Тепловий імпульс по стороні ВН:

$$B_{к1} = I_{но2} (t_{вим.} + T_{ас}) = 84032(0,05 + 0,115) = 11,66 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{сек.} \quad (2.69)$$

Тепловий імпульс на шинах КРЗ-9:

$$B_{к1} = I_{но12} (t_{вим.} + T_{ас}) = 148202(0,07 + 0,115) = 26,35 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{сек.} \quad (2.70)$$

Вибір апаратів РП виконується:

- для ВН 154 кВ;
- для НН 6 кВ.

2.4 Вибір вимикачів і роз'єднувачів

Номінальна робоча напруга задана в вихідних даних, робочий струм розраховано раніше [5, 6].

Струм відключення:

$$I_{відкл.р} = I_{но}. \quad (2.71)$$

Струм включення:

$$I_{вкл.р} = I_{відкл.р}. \quad (2.72)$$

$$i_{вкл.р} = 2,55 \cdot I_{вкл.р}. \quad (2.73)$$

Наскрізні струми (струми динамічної стійкості):

$$\begin{aligned} i_{дин.р} &= i_y; \\ I_{дин.р} &= I_{но}. \end{aligned} \quad (2.74)$$

Вибір вимикачів на стороні 154 кВ зводимо в табл. 2.5.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вибір увідних вимикачів на 154 кВ

Умови вибору і перевірки	Каталожні дані	Розрахункові величини
$U_n \geq U_{уст}$; кВ	170	150
$I_n \geq I_{р.ф1}$; А	4000	144,8
$I_{відкл.н} \geq I_{но}$; кА	40	8,408
$i_{дин.н} \geq i_{уд}$; кА	100	21,4
$I_{дин.н} \geq I_{но}$; кА	40	8,408
$i_{вкл.н} \geq 2,55 \cdot I_{вкл.р}$; кА	100	21,44
$I_{вкл.н} \geq I_{но}$; кА	40	8,408
$I^2t \geq B_k$; А2*с	4800x106	11,66x106
Тип вимикача	АЕГ-С1	

Вибір роз'єднувачів на стороні 154 кВ зводимо в табл. 2.6.

Вибір роз'єднувачів на 154 кВ

Умови вибору і перевірки	Каталожні дані	Розрахункові величини
$U_n \geq U_{уст}$; кВ	150	150
$I_n \geq I_{р.ф1}$; А	1000	144,8
$i_{дин.н} \geq i_{уд}$; кА	40	21,4
$I^2t \geq B_k$; А2*с	4800*106	11,66*106
Тип роз'єднувача	РНД(3)-150/1000У1	

Вибір вимикачів на 6кВ (у шафи типу КРУ 2-6Е).

Вибір увідних, секційних і вимикачів двигунів зводимо в табл. 2.7.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вибір увідного, секційного і вимикачів двигунів

Найменування комірки приєднання	Увідний вимикач		Секційний вимикач		Вимикач електродвигуна	
	Каталожні	Розрахункові	Каталожні	Розрахункові	Каталожні	Розрахункові
Умови виробу і перевірки						
$U_n \geq U_{уст}$; кВ	6	6	6	6	6	6
$I_n \geq I_{p.ф1}$; А	2000	2001	2000	1811	630	116,2
$I_{відкл.н} \geq I_{но}$; кА	31,5	14,82	31,5	14,81	20	14,82
$i_{дин.н} \geq i_{уд}$; кА	80	43,68	80	43,68	50	43,68
$I_{дин.н} \geq I_{но}$; кА	31,5	14,82	31,5	14,68	20	14,82
$i_{вкл.н} \geq 2,55 \cdot I_{вкл.р}$; кА	80	37,79	80	37,79	50	37,79
$I_{вкл.н} \geq I_{но}$; кА	31,5	14,82	31,5	14,82	20	14,82
$I^2t \geq B_k \cdot 10^6$; А2*с	2976	11,66	2976	11,66	1200	11,66
	VD4-1220-31- 2000		VD4-1220-31-2000		VD4-1206-20-630	

До електродвигунів відносяться насоси гідрозмиву і димососи.

Замінюємо вимикачі таким чином:

1. ВМГ-10-630 на VD4-1206-20-630.
2. ВМГ-10-1000 на VD4-1212-20-1250.

Комутацію компенсуючих пристроїв здійснюємо за допомогою ельгазових вимикачів типу LF2-606-20 з каталожними даними:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$U_{\max} = 7,2 \text{ кВ}; \quad I_{\text{вим.н}} = 20 \text{ кА}; \quad I_{\text{н}} = 630 \text{ А};$$

$$i_{\text{відкл.н}} = 51 \text{ кА}; \quad I_{\text{дин.н}} = 20 \text{ кА}; \quad i_{\text{дин.н}} = 20 \text{ кА};$$

Тип шафи КУ-10.

2.5 Вибір перетину проводів

Перевірка перетину жили кабелю на термічну стійкість при КЗ провадиться шляхом співставлення температури Q_{κ} при КЗ і максимально допустимої при короткочасному нагріванні $Q_{\kappa.\text{доп}}$ (для алюмінієвих проводів $Q_{\kappa.\text{доп}} = 200^{\circ}\text{C}$).

Умови збереження термічної стійкості $Q_{\kappa} < Q_{\kappa.\text{доп}}$. При цьому приймається, що до моменту КЗ температура провідника не перевищує $\theta_{\text{н}} = 55^{\circ}\text{C}$ (кабель 6 кВ).

Кінцева θ_{κ} визначається по кривим нагрівання – залежності температури θ від питомого теплового імпульсу струму $A = \frac{B_{\kappa}}{g_2}$.

Користуючись кривими нагрівання спочатку по $\theta_{\text{н}}$ знаходимо $A_{\text{н}}$ і потім обчислюємо A_{κ} .

$$A_{\kappa} = A_{\text{н}} + \frac{B_{\kappa}}{g_2}; \quad B_{\kappa} = 26,35 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{сек}; \quad A_{\text{н}} = 0,4 \cdot 10^4 \frac{\text{А}^2\text{сек}}{\text{мм}^2}. \quad (2.75)$$

Потім по A_{κ} визначаємо θ_{κ} .

Мінімальний переріз провідника:

$$\gamma_{\min} = \frac{1}{c} \sqrt{B_{\kappa}}. \quad (2.76)$$

де значення $c = 85$ для кабелів до 10 кВ з алюмінієвими жилами.

Всі розрахунки по перевірці жил кабелів на термічну стійкість при КЗ заносимо в табл. 2.8.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Перевірка перетинів жил кабелів на термічну стійкість

№ комірки	Кількість і перетин жил кабелів мм ²	Сумарний перетин кабелів	A_k , $A^2 \cdot c / \text{мм}^2$	θ_k , мм ²	q_{\min} , мм ²
1	2(3x240)	480	$0,41 \cdot 10^4$	57	60,39
2	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
3	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
4	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
5	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
6	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
7	3(3x240)	720	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
8	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
9	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
10	3(3x240)	720	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
11	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
12	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
13	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
14-15	4(3x185)	740	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
16	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
17	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
18	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
19	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
20	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
21	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
27	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
28	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
29	1(3x185)	185	$0,47 \cdot 10^4$	65	60,39

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

30	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
31	1(3x185)	185	$0,47 \cdot 10^4$	65	60,39
32	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
33	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
34	3(3x240)	720	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
35	1(3x185)	185	$0,47 \cdot 10^4$	65	60,39
36	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
37	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
38	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
39	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
40	1(3x185)	185	$0,47 \cdot 10^4$	65	60,39
41	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
42	1(3x120)	120	$0,58 \cdot 10^4$	85	60,39
43	4(3x240)	960	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
44	5(3x240)	1200	$0,4 \cdot 10^4$	55	60,39
45КЛ1	1(3x150)	150	$0,51 \cdot 10^4$	75	60,39
45КЛ2	1(3x95)	95	$0,69 \cdot 10^4$	120	60,39
45КЛ3	1(3x50)	50	$1,45 \cdot 10^4$	215	60,39
46КЛ1	1(3x240)	240	$0,44 \cdot 10^4$	60	60,39
46КЛ2	1(3x185)	185	$0,47 \cdot 10^4$	65	60,39
46КЛ3	1(3x70)	70	$0,93 \cdot 10^4$	135	60,39
47КЛ1	1(3x150)	150	$0,51 \cdot 10^4$	75	60,39
47КЛ2	1(3x95)	95	$0,69 \cdot 10^4$	120	60,39
47КЛ3	1(3x50)	50	$1,45 \cdot 10^4$	215	60,39
48КЛ1	1(3x240)	240	$0,44 \cdot 10^4$	60	60,39
48КЛ2	1(3x185)	185	$0,47 \cdot 10^4$	65	60,39
48КЛ3	1(3x70)	70	$0,93 \cdot 10^4$	135	60,39

Перевірку на термічну стійкість при КЗ не пройшли кабелі перетином 50 мм^2 , тому їх замінюємо кабелями перетин жил яких більший за $q_{\min} = 60,39 \text{ мм}^2$, тобто перетином 70 мм^2 .

2.6 Конструкторська розробка шинного мосту

Шинний міст (ШМ) пов'язує силовий трансформатор з РП. Під час реконструкції КРЗ-9 передбачається роздільна робота обмоток НН силового трансформатора. Для цього існуючий шинний міст буде підключений до однієї з обмоток НН, а до іншої буде підключатися новий сконструйований шинний міст [2].

Максимальна потужність через ШМ у форсованому режимі:

$$S_{\max} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{2} \cdot 1,3 = \frac{32000}{2} \cdot 1,3 = 20800 \text{ кВА}. \quad (2.77)$$

Струм ШМ у форсованому режимі:

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{20800}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2001,4 \text{ А}. \quad (2.78)$$

Для встановлення приймаємо однополосні шини прямокутного перерізу $120 \times 10 \text{ мм}$ з $I_{\text{дон}} = 2070 \text{ А}$.

Перевірка по $I_{\text{КЗ}}$:

Зусилля:

$$F_{\max} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot 10^{-7}. \quad (2.79)$$

де a – відстань між фазами, $a = 0,5 \text{ м}$.

$$F_{\max} = 1,73 \cdot \frac{(43680)^2}{0,5} \cdot 10^{-7} = 660 \text{ Н / м}. \quad (2.80)$$

шини кладемо плашмя: $a = 500 \text{ мм}$; $b = 10 \text{ мм}$; $h = 120 \text{ мм}$.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1 \cdot 12^2}{6} = 24 \text{ см}^3. \quad (2.81)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$J = \frac{d \cdot h^3}{12} = \frac{1 \cdot 12^3}{12} = 144 \text{ см}^4. \quad (2.82)$$

$$l_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot G_{\text{доп}}}{F}}. \quad (2.83)$$

де $G_{\text{доп}} = 80 \text{ мПа}$.

$$l_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 24 \cdot 80}{660}} = 5,9 \text{ м}. \quad (2.84)$$

Обираємо допустимий проліт $l = 2,5 \text{ м}$ ($l < l_{\text{доп}}$).

$$M_{\text{згин}} = \frac{F e^2}{10} = \frac{660 \cdot 2,5^2}{10} = 412,5 \text{ Дан / см}^2. \quad (2.85)$$

$$G_{\text{розр}} = \frac{M_{\text{згин}}}{W} \leq G_{\text{доп}} = 650 \text{ Дан / см}^2. \quad (2.86)$$

$$G_{\text{розр}} = \frac{412,5}{24} = 17,18 \text{ Дан / см}^2 \leq G_{\text{доп}}. \quad (2.87)$$

$$f = \frac{365}{l} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}, \quad (2.88)$$

де E – модуль потужності матеріалу шин $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Па}$;

m – маса шини на одиницю довжини, кг/м; $m = 2,71 \cdot q \cdot 10^{-3}$;

q , мм² – переріз шини.

$$m = 2,71 \cdot 1200 \cdot 10^{-3} = 3,25 \text{ кг / м}.$$

$$f = \frac{365}{2,5} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 144 \cdot 10^{-8}}{3,25}} = 25712 \text{ Гц} > 200 \text{ Гц}. \quad (2.89)$$

Перевірка на термічну стійкість $Q_{\text{к.доп}} = 200^\circ\text{C}$. Умова збереження стійкості $Q_{\text{к}} > Q_{\text{к.доп}}$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

За кривими $Q(A)$

$$A_n = 0,55 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot C}{\text{мм}^4}. \quad (2.90)$$

$$A_k = A_n + \frac{B_k}{q^2} = 0,55 \cdot 10^4 + \frac{26,35 \cdot 10^6}{1200^2} = 0,5518 \cdot 10^4 \frac{A^2 \cdot C}{\text{мм}^4}. \quad (2.91)$$

$Q_k \approx 70^\circ\text{C}$, отже $Q_k < Q_{k.\text{доп}}$.

Мінімальний переріз шини:

$$q_{\min} = \frac{1}{e} \sqrt{B_k}, \quad (2.92)$$

де $e = 160$ – для алюмінію.

$$q_{\min} = \frac{1}{160} \sqrt{26,35 \cdot 10^6} = 32 \text{ мм}^2, q > q_{\min}. \quad (2.93)$$

Вибір ізоляторів і шинних конструкцій

Довжина прольоту міцністю ізолятора:

$$l_{\text{доп}} = \frac{0,6 \cdot F_{\text{розр}}}{F_{\text{макс}}} \cdot \frac{h_{i\partial}}{h}, \quad (2.94)$$

де $F_{\text{розр}}$ – руйнівне зусилля при вкладанні шин плашмя $\frac{h_{i\partial}}{h} = 1$.

Навантаження на ізоляторі:

$$F'_{\text{розр.}} = F_{\text{макс}} \cdot l \cdot \frac{h_{i\partial}}{h} = 660 \cdot 2,5 = 1650 \text{ Н}; \quad (2.95)$$

$$l_{\text{доп}} = \frac{0,6 \cdot 3000}{660} = 2,72 \text{ м}. \quad (2.96)$$

Обираємо ізолятори:

Опорні: НО-10-3000УЗ, висота 100 мм

$$U_n = 10 \text{ кВ}; I_n = 3150 \text{ А}; U_{\text{вип.роб}} = 47 \text{ кВ};$$

$$F_{\text{розр}} = 3000 \text{ Н}; (0,6 F_{\text{розр}} = 1800 > F'_{\text{розр}}).$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Прохідні ізолятори: НІ-10-3150-3000У.

$$U_n = 10 \text{ кВ}; I_n = 3150 \text{ А}; U_{\text{вип.роб}} = 47 \text{ кВ};$$

$$F_{\text{розр}} = 3000 \text{ Н}; (0,6F_{\text{розр}} = 1800 > F'_{\text{розр}}).$$

Шини з ізоляторами кладуть на металевий каркас із швелерів, який влаштовується на залізобетонні опори.

Створена схема електропостачання ПС КРЗ-9 (див. рис. 2.3).

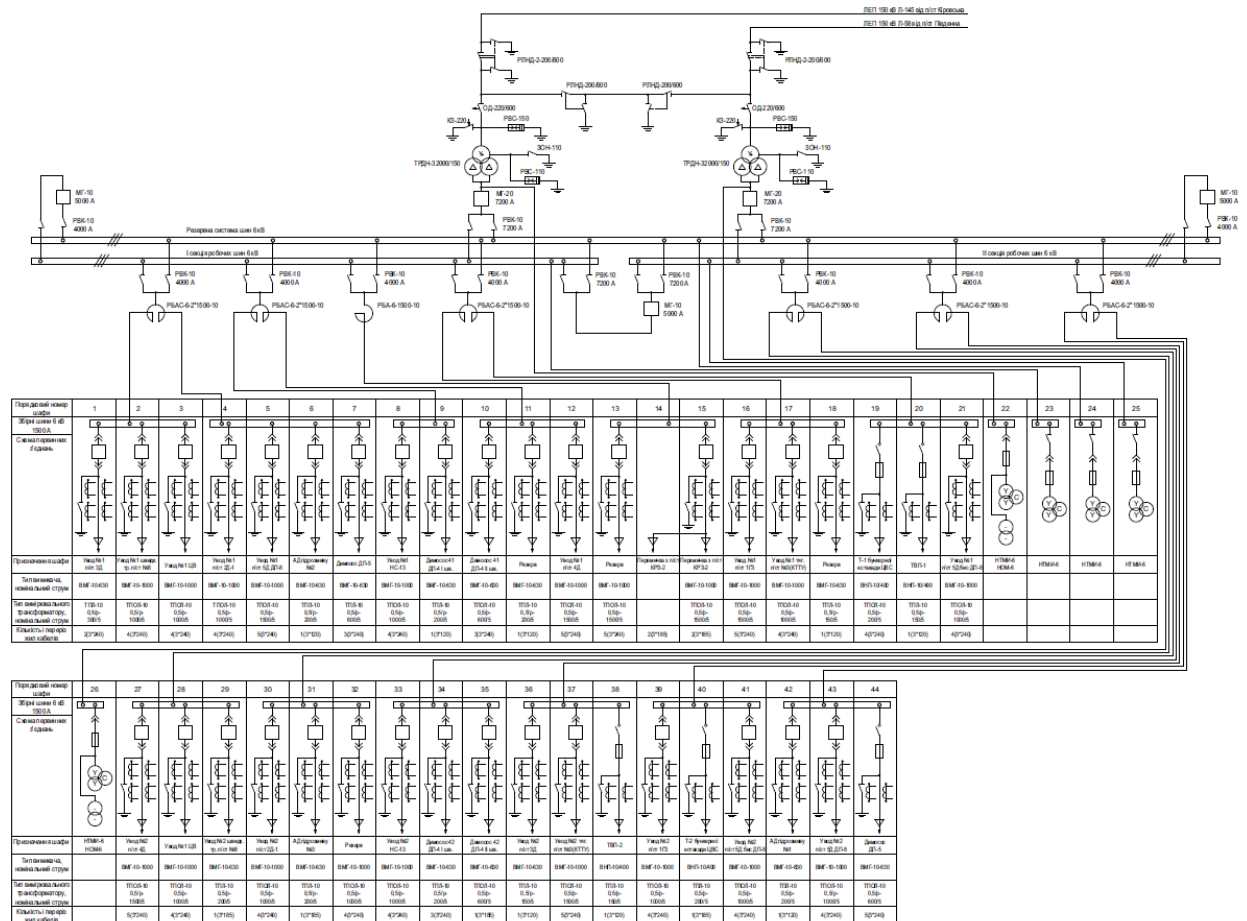


Рисунок 2.3 – Однолінійна схема електропостачання ПС КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Висновки до розділу 2

У другому розділі розраховано навантаження на підстанцію КРЗ-9. Було визначено необхідну номінальну потужність трансформаторів, щоб забезпечити безперебійне електропостачання всіх споживачів підстанції. Також було розглянуто питання резервування, що передбачає наявність

додаткових трансформаторів для випадків аварійних відключень або технічного обслуговування. Проведено вибір та розрахунок комутаційного обладнання. На основі розрахованих навантажень було підібрано відповідні вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники та інше обладнання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3 Проектно-конструкторська розробка

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Худорожков С.Р.				Проектно-конструкторська розробка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Михайленко О.Ю.					Н	52	
Н.контр.	Михайленко О.Ю.					ЕЕМ-20		
Затверд.	Пересунько І.І.							

3.1 Мікропроцесорний релейний захист силового трансформатора

Повна функціональна схема захисту та моніторингу стану трансформатора побудованого на прикладі мікропроцесорного реле MiCOM P64x (Schneider Electric), що враховує більшість можливих ненормальних випадків роботи трансформатора показана на рис. 3.1 [7].

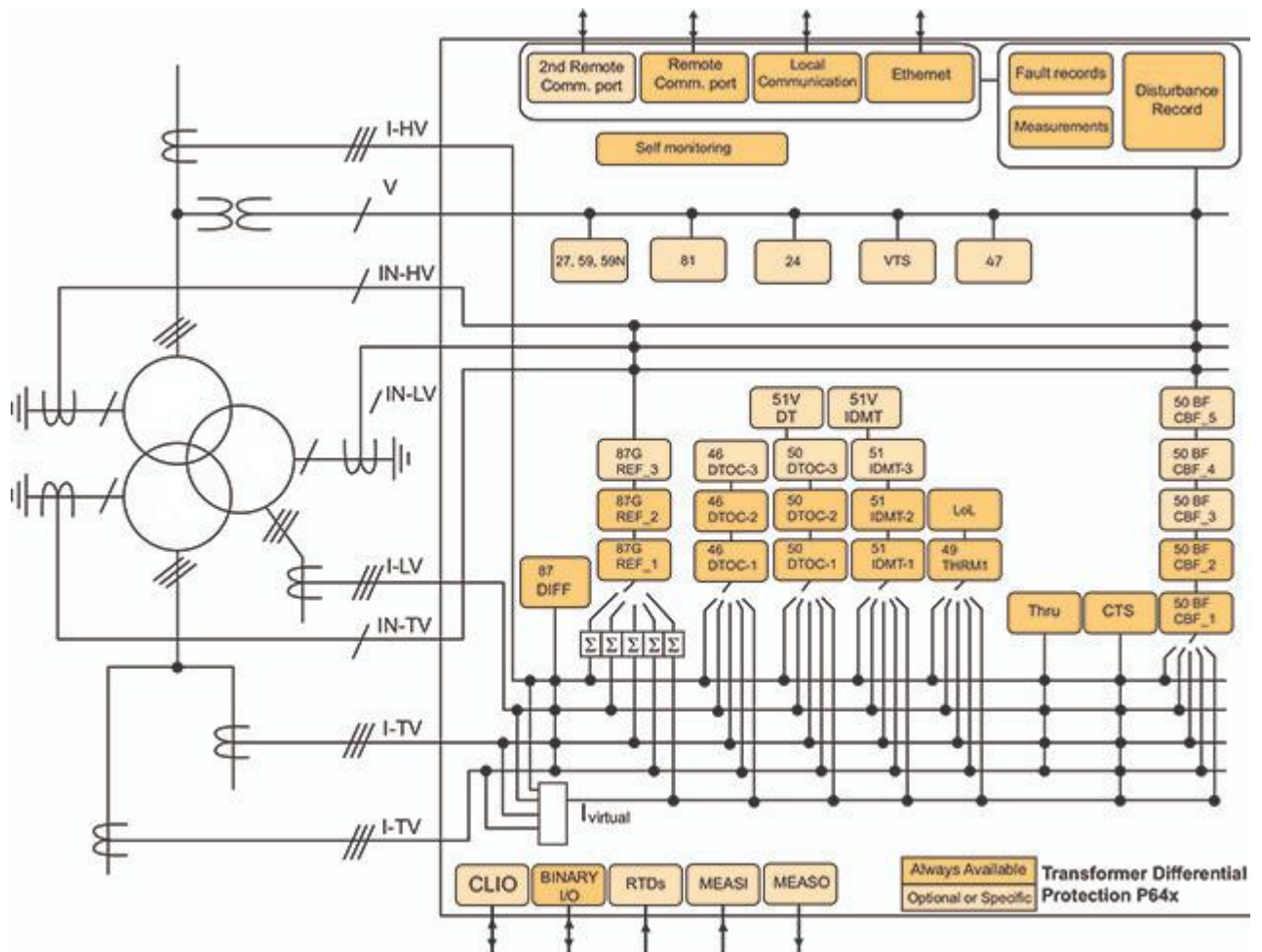


Рисунок 3.1 – Захист трансформатора із залученням мікропроцесорних реле, як-то MiCOM P64x

Схема мікропроцесорного захисту дозволяє виявляти несправності, як-то:

- 24 Перенапруга
- 27 Зниження напруги
- 46 Перевантаження по струму негативної послідовності
- 47 Перенапруга негативної послідовності

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27

Арк.

53

- 49 Теплове перевантаження
- 50 Фазний витриманий струм
- 51 Фазний зворотний струм за часом
- 52 Керування автоматичним вимикачем
- 59 Перенапруга
- 67 Спрямований фазний струм
- 68 Виявлення кидків напруги
- 89 Контакти замикання/блокування
- 50BF Несправність ПЗВ
- 50N Замикання на землю з витримкою часу
- 51N Перевантаження нейтралі/землі
- 51R Обмежений струм з обмеженням за напругою
- 51V Контрольований струм, керований напругою
- 59N Зсув напруги нейтралі
- 64N Обмежене замикання на землю
- 67N Спрямовані перенапруги нейтралі/землі
- 81O Перевищення частоти
- 81U Низькочастотний
- 87T Трансформаторний диференціал
- CLIO Перетворювач струмової петлі вводу/виводу
- CTS Нагляд за комп'ютерною томографією
- LoL Зношення
- PSL Програмована логіка
- RTD Вимірювання температури
- TCS Контроль ланцюга відключення
- Наскрізний моніторинг несправностей
- VTS Моніторинг трансформаторів напруги

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

Такий захист задіюється для захисту двообмоткових трансформаторів з розщепленою фазою і триобмоткових трансформаторів (включаючи автотрансформатори). Захист має до 5 комплектів трифазних входів трансформаторів струму (ТС) і 4 входи трансформаторів напруги. Так забезпечується захист від перевантаження трансформатора, короткого замикання і перезбудження, а також стандартні функції захисту, такі як диференціальний, маскимальний струмовий захист, захист від замикання на землю і т.д. при внутрішніх пошкодженнях.

Схема захисту низку вимірюваних індикаторів справності трансформатора, які контролюють електричне навантаження, температуру ґрунту, найгарячішої точки та навколишнього середовища, історію несправностей та виміряне збудження. Енергокомпанії, які використовують ці показники, можуть приймати розумні рішення щодо прибутку/ризиків та планувати оптимальне навантаження на трансформатор і його технічне обслуговування.

Реле захисту включає в себе багато загальних функцій моніторингу стану трансформатора, які перераховані нижче [8].

- розрахунок температури масла у верхній частині трансформатора та температури гарячої точки з урахуванням температури навколишнього середовища, коливань навантаження та теплових параметрів масла на основі стандарту IEEE C57.91-1995.
- розрахунок втрат ресурсу трансформатора на основі стандарту IEEE C57.91-1995 з наданням даних про накопичені втрати ресурсу, швидкість втрат ресурсу, коефіцієнт прискорення старіння та залишковий ресурс.
- моніторинг наскрізних пошкоджень трансформатора на основі розрахунку максимального струму КЗ та тривалості КЗ на фазу.
- моніторинг температури, наприклад, верхнього, нижнього масла, масла на вході/виході охолоджувача, масла у відсіку РПН і

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

температури гарячої точки обмотки через десять релейних входів або чотири входи струмового кола.

- моніторинг та сигналізація інших величин датчиків, таких як положення пристрою РПН, рівень масла, тиск масла у втулках, через релейні входи струмової петлі.
- моніторинг струму навантаження і короткого замикання, а також системних напруг через входи трансформатора струму і напруги реле захисту. Реле може також забезпечувати контроль трансформаторів струму і напруги на цих входах.

Реле має гнучкі стандартні засоби зв'язку для підключення функцій релейного захисту та моніторингу стану до SCADA-системи замовника. Наприклад, реле підтримує ряд стандартних протоколів, таких як MODBUS, IEC 60870-5-103, DNP 3.0 і IEC 61850, а також опції заднього порту зв'язку, такі як RS485, оптоволокну, Ethernet або резервний Ethernet, плюс передній порт зв'язку для локального доступу.

Реле також має програмовані світлодіоди для зручної локальної індикації та програмовану логіку схеми для легкого налаштування схеми. Також передбачені функції запису послідовності подій і порушень, які можуть допомогти в діагностиці несправностей і тривоги.

Як описано вище, реле має чотири входи для датчиків (струмової петлі) з гнучкими діапазонами 0-1 мА, 0-10 мА, 0-20 мА або 4-20 мА, які можна використовувати з низкою зовнішніх датчиків моніторингу для індикації температури, рівня масла тощо. З кожним входом пов'язані два ступені захисту із затримкою в часі, один для тривоги і один для відключення. Кожна ступінь може бути налаштована на спрацьовування при «перевищенні» або «зниженні». Чотири струмові виходи також мають діапазони 0-1 мА, 0-10 мА, 0-20 мА або 4-20 мА, що може зменшити потребу в окремих датчиках. Вони можуть бути використані для живлення стандартних амперметрів з рухомою котушкою для аналогової індикації певних вимірюваних величин або для введення в SCADA за допомогою існуючого аналогового RTU. До 24

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

цифрових входів доступні для отримання інформації про стан від зовнішніх пристроїв, таких як ТС або зовнішні датчики, і до 24 вихідних контактів доступні для забезпечення виходів тривоги і відключення.

3.2 Вибір релейного захисту силового трансформатору ТРДН-32000/154/6

Основою для створення системи захисту будуть мікропроцесорні реле серії МіСОМ типу МіСОМ Р643 [9], які компанія-виготовник рекомендує для залучення до захисту трансформаторів з трьома обмотками або з розщепленими обмотками

Диференціальний струмовий захист на основі мікропроцесорного реле МіСОМ більш чутливий, ніж диференціальний захист з магнітним гальмуванням або з насичувальним трансформатором струму.

Для захисту двохобмоточного трансформатору з розщепленою обмоткою низької напруги диференціальний захист виконаний у вигляді двох комплектів (з використанням МіСОМ Р64х), грубого, діючого без витримки часу, зі струмом спрацювання захисту $I_{с.з.} > I_{ном}$ і чутливого з витримкою часу у межах $t_{с.з.} = 0,5...1 с$ і струмом спрацювання захисту у межах $I_{с.з.} = (0,75...1)I_{ном}$.

На двохобмоточних трансформаторах 154/6 кВ максимальний струмовий захист (МСЗ), виконаний з двома реле струму, з'єднаними у трикутник і він встановлюється на стороні ВН. Таке виконання запобігає неселективній дії при замиканнях на землю у мережі 154 кВ (для випадку коли нейтраль трансформатора заземлена) [10].

Потрібно також відмітити, що чутливість захисту у наведеному виконанні, при замиканнях між двома фазами на стороні 154 кВ може бути знижена у 2 рази у порівнянні зі схемою з трьома реле останнє.

МСЗ від перевантаження виконаний з використанням струму однієї фази і з витримкою часу на сигнал.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Захист від перевантаження двообмоткового трансформатора з розщепленою обмоткою низької напруги виконаний з використанням двох реле, кожне з яких увімкнено на фазний струм обмоток 6 кВ.

Газовий захист передбачається на всіх трансформаторах $S_m \geq 6300$ кВА. Газові реле мають діяти тільки на відключення.

3.3 Обчислення уставок релейного захисту

Диференціальний захист виконаний двома мікропроцесорними реле типу МІСОМ Р643.

Захисти від зовнішніх багатофазних коротких замикань виконані у вигляді трьох комплектів МСЗ з комбінованим пуском за напругою.

МСЗ встановлені на відведеннях до I і II секції шин, які отримують живлення від трансформаторів струму, потрібні для відключення КЗ на елементах, приєднаних до цих шин. Захисти розташовані в шафах КРП вимикачів уводів 6 кВ, із витримкою часу діють на вимикання вимикачів.

3.3.1 Знаходження струму короткого замикання

Для вибору установок захисту знаходиться струм на шинах підключення трансформатора ТРДН-32000/154/6.

Активний опір лінії маленький, тоді його не беремо до уваги. Опір обмоток трансформатора:

$$X_{тр.маx} = \frac{U_{к\%} \cdot (U_{маx.в.н})^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{U_{к\%} \cdot (U_{ср.в.н} \cdot (1 + \Delta U_{*рлн}))^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} =$$

$$= \frac{10,5 \cdot (154 \cdot (1 + 0,12))^2}{100 \cdot 32} = 97,6 \text{ Ом.} \quad (3.1)$$

$$X_{тр.ср} = \frac{U_{к\%} \cdot U_{ср.в.н}^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{10,5 \cdot 154^2}{100 \cdot 32} = 77,8 \text{ Ом.} \quad (3.2)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\begin{aligned}
 X_{mp.min} &= \frac{U_{\kappa\%} \cdot (U_{\min.в.н})^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{U_{\kappa\%} \cdot (U_{ср.в.н} \cdot (1 - \Delta U_{*рпн}))^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \\
 &= \frac{10,5 \cdot (154 \cdot (1 - 0,12))^2}{100 \cdot 32} = 60,26 \text{ Ом.}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Розрахунок максимально можливого струму КЗ $I_{\kappa^{(3)}.max}$ виконуємо при найменшому опорі живильної системи у її максимальному режимі ($X_{с.max}$, віднесеному до $U_{ср}$ мережі ВН) і опорі $X_{mp.min}$.

За даними лабораторії режимів підприємства: $X_{сл-145} = 6,41 \text{ Ом}$;
 $X_{сл-58} = 8,24 \text{ Ом}$.

$$\begin{aligned}
 I_{\kappa \text{ max.в.н}}^{(3)} &= \frac{U_{ном.в.н}}{\sqrt{3}(X_{с.max} + X_{mp.min})} = \\
 &= \frac{154 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (8,24 + 60,26)} = 1264,27 \text{ А;}
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\kappa \text{ max.н.н}}^{(3)} &= I_{\kappa \text{ max.в.н}}^{(3)} \cdot \frac{U_{ср} \cdot (1 - \Delta U_{*рпн})}{U_{ср.н.н}} = \\
 &= 1264,27 \cdot \frac{154 \cdot (1 - 0,12)}{6,3} = 27195,85 \text{ А;}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Розрахунок мінімального струму КЗ $I_{\kappa^{(3)}.min}$ виконуємо при найбільшому опорі живильної системи у мінімальному її режимі ($X_{с.min}$) і найбільшому опорі трансформатора.

$$\begin{aligned}
 I_{\kappa \text{ min.в.н}}^{(3)} &= \frac{U_{\max.в.н}}{\sqrt{3}(X_{с.min} + X_{mp.max})} = \\
 &= \frac{172 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (6,41 + 97,6)} = 954,76 \text{ А;}
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\kappa \text{ min.н.н}}^{(3)} &= I_{\kappa \text{ min.в.н}}^{(3)} \cdot \frac{U_{\max.в.н}}{U_{н.н}} = \\
 &= 954,76 \cdot \frac{172 \cdot 10^3}{6,3 \cdot 10^3} = 26066,46 \text{ А.}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

Струм двофазного короткого замикання:

$$\begin{aligned} I_{к\ в.н}^{(2)} &= I_{к\ max.\ в.н}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \\ &= 1264,27 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 1094,88\ A; \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} I_{к\ н.н}^{(2)} &= I_{к\ max.\ н.н}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \\ &= 27195,85 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 23552,29\ A. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Номинальні струми трансформатору:

$$\begin{aligned} I_{ном.\ в.н} &= \frac{S_{ном.\ tr}}{\sqrt{3}U_{\ в.н}} = \\ &= \frac{32 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 150} = 123,17\ A; \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} I_{ном.\ н.н} &= \frac{S_{ном.\ н.н.\ tr}}{\sqrt{3}U_{\ н.н}} = \\ &= \frac{16 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1539,6\ A. \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.3.2 Розрахунок максимального струмового захисту (МСЗ)

Максимальний струмовий захист від багатофазних струмів КЗ, встановлюють зі сторони основного живлення.

Трансформатори струмів МСЗ увімкнені у неповну зірку.

Первинний струм МСЗ з витримкою часу:

$$I_{с.з} \geq \frac{\kappa_n \cdot \kappa_{сзн} \cdot I_{роб.\ max}}{\kappa_n}, \quad (3.12)$$

де $I_{роб.\ max} = I_{тр.\ ном.\ в.н}$ – робочий максимальний струм, де встановлено захист;

$\kappa_n = 1,2$ – коефіцієнт надійності реле;

$\kappa_n = 0,8$ – коефіцієнт повернення реле;

$\kappa_{сзн} = 1,5$ – коефіцієнт самозахисту двигунів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$I_{c.3} = \frac{1,2 \cdot 1,5 \cdot 123,17}{0,8} = 277,13 \text{ A.} \quad (3.13)$$

Коефіцієнт чутливості визначаємо за мінімальним струмом через реле при двофазному КЗ:

$$K_{\text{ч}}^2 = \frac{I_{\text{к min.в.н}}^2}{I_{c.3}} = \frac{0,867 \cdot I_{\text{к в.н}}^{(3)}}{I_{c.3}} \geq 1,5; \quad (3.14)$$

$$I_{\text{к в.н}}^{(3)} = I_{\text{к min.в.н}}^{(3)}; \quad (3.15)$$

$$K_{\text{ч}}^2 = \frac{0,867 \cdot 954,76}{277,13} = 2,98 > 1,5. \quad (3.16)$$

Для підвищення надійності цього захисту:

$$I_{c.3} \geq 4I_{\text{тр.ном}} \Rightarrow K_{\text{ч}}^2 = \frac{I_{\text{к в.н}}^2}{4I_{\text{тр.ном}}} \geq 1,5; \quad (3.17)$$

$$K_{\text{ч}}^2 = \frac{954,76}{4 \cdot 123,17} = 1,93 > 1,5; \quad (3.18)$$

$$I_{c.3} = 4 \cdot 123,17 = 492,68 \text{ A.} \quad (3.19)$$

Струм спрацьовування МСЗ буде більший за $I_{c.3} = 492,68 \text{ A}$.

Струм спрацьовування МСЗ:

$$I_{c.p} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{c.3}}{K_{\text{т.с.в.н}}}; \quad (3.20)$$

$$I_{c.p} = \frac{1 \cdot 492,68}{200} = 2,46 \text{ A.} \quad (3.21)$$

3.3.3 Обчислення захисту від перевантаження

Первинний струм спрацювання реле навантаження:

$$I_{c.3.пер} \geq \frac{\kappa_n \cdot I_{\text{т.ном}}}{\kappa_n}, \quad (3.22)$$

де $\kappa_n = 1,05$ – коефіцієнт надійності реле;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$\kappa_n = 0,8$ – коефіцієнт повернення реле:

$$I_{c.з.пер} = \frac{1,05 \cdot 123,17}{0,8} = 161,66 \text{ А.} \quad (3.23)$$

Струм спрацьовування реле:

$$I_{c.р.пер} = \frac{I_{c.з.пер}}{K_{т.с}} = \frac{161,66}{200} = 0,8 \text{ А.} \quad (3.24)$$

3.3.4 Перевірка трансформаторів струму максимального струмового захисту

ТС перевіряється на 10 % похибки, напругу у вторинних колах, на дійсність роботи реле.

Визначаємо граничну кратність (K_{10}) розрахункового струму $I_{роз}$ за відношенням до первинного номінального струму $I_{тр.ном}$ ТС.

$$K_{10} = \frac{I_{роз}}{I_{тр.ном}}. \quad (3.25)$$

Для МСЗ:

$$I_{роз} = 1,1 \cdot I_{c.з} = 1,1 \cdot 492,68 = 541,95 \text{ А}; \quad (3.26)$$

$$K_{10} = \frac{541,95}{123,17} = 4,4. \quad (3.27)$$

По кривим граничних крайностей встановлюємо допустиме вторинне навантаження ТС, за якого похибка ТС не перевищує 10 %.

У силові трансформатори вбудовані ТС ТВТ-150-І-200/5.

$$Z_{н.дон} = 3 \text{ Ом.} \quad (3.28)$$

Розрахункове навантаження:

$$Z_{н.роз} = Z_{рф} + Z_{нр}, \quad (3.29)$$

де $Z_{рф} = \frac{S}{I^2}$ – опір реле;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Z_{p\phi} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}; \quad (3.30)$$

$$Z_{np} = \frac{\rho \cdot l_{роз}}{q}, \quad (3.31)$$

де ρ – питомий опір алюмінієвого проводу;

$$l_{np} = 40 \text{ м для схеми неповної зірки } l_{роз} = \sqrt{3} \cdot l_{np} = \sqrt{3} \cdot 40 = 69,2 \text{ м};$$

$$q \text{ – перетин проводу } q_{\min} = 2,5 \text{ мм}^2$$

$$Z_{np} = \frac{0,0283 \cdot 69,2}{2,5} = 0,786 \text{ Ом};$$

$$Z_{н.роз} = 0,02 + 0,786 = 0,806 \text{ Ом};$$

$$Z_{н.роз} < Z_{н.дон}, \text{ отже трансформатор струму працює без перевантаження,}$$

його повна похибка не перевищує 10 %.

3.3.5 Напруга на вторинній обмотки трансформатора струму

Для одержання максимального значення напруги вторинної обмотки розрахунок провадимо з врахуванням перехідного процесу первинної мережі:

$$U_{2\max} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot K_{\max} \cdot I_{2\text{ном}} \cdot Z_{н.роз}, \quad (3.32)$$

де K_y – ударний коефіцієнт, $K_y = 1,65$;

$$I_{2\text{ном}} = 5 \text{ А}.$$

$$K_{\max} = \frac{I_{к.макс}}{I_{т.с.макс}} = \frac{1264,27}{200} = 6,32; \quad (3.33)$$

$$U_{2\max} = 1,65 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,32 \cdot 5 \cdot 0,806 = 59,4 \text{ В}. \quad (3.34)$$

Згідно з ПУЕ $U_{2\max} \leq 1400 \text{ В}$. Ця умова виконується.

3.3.6 Диференціальний захист

При диференціальному захисті двообмоткового трансформатора з розщепленими обмотками низької напруги коефіцієнти трансформації ТС [11, 12]:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_{т.с.роз.в.н} = \frac{I_{ном.в.н} \cdot K_{ск.в.н}^{(3)}}{5} =$$

$$= I_{ном.в.н} \cdot \frac{\sqrt{3}}{5} = 123,17 \cdot \frac{\sqrt{3}}{5} = 42,66; \quad (3.35)$$

$$K_{т.с.роз.н.н} = \frac{I_{ном.н.н} \cdot K_{ск.н.н}^{(3)}}{5} = I_{ном.н.н} \cdot \frac{1}{5} =$$

$$= 1539,6 \cdot \frac{1}{5} = 307,92. \quad (3.36)$$

Задля підвищення надійності захисту, зменшення повної похибки ТС приймаємо на (50÷60)% завищене значення $K_{т.с.}$, що дає пониження кратності струмів КЗ:

$$K_{т.с.в.н} = 1,6 \cdot K_{т.с.роз.в.н} = 1,6 \cdot 43 = 68,8; \quad (3.37)$$

$$K_{т.с.н.н} = 1,55 \cdot K_{т.с.роз.н.н} = 1,55 \cdot 308 = 477,4. \quad (3.38)$$

Приймаємо реле типу МіСОМ Р643, яке приєднуємо до ТС низької напруги.

За умовою відстрочки від кидка струму намагнічування при увімкненні не навантаженого трансформатора під напругою при крайньому від'ємному положенні пристрою РПН.

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{т.мин.роз} \quad (3.39)$$

де $K_n = 1,5$ – коефіцієнт надійності відстрочки.

$$I_{т.мин.роз} = \frac{I_{т.ном}}{\alpha_{min}} \quad (3.40)$$

де $\alpha_{min} = 0,88$.

$$I_{т.мин.роз} = \frac{123,17}{0,88} = 139,96 \text{ A}; \quad (3.41)$$

$$I_{с.з} = 1,5 \cdot 139,96 = 209,94 \text{ A}. \quad (3.42)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вторинні струми у реле захисту при номінальному навантаженні трансформатора.

$$I_{в.н2} = \frac{I_{т.ном.в.н} \cdot K_{сх}^{(3)}}{K_{т.с.в.н}} = \frac{123,17 \cdot \sqrt{3}}{69} = 3,09 \text{ А}; \quad (3.43)$$

$$I_{н.н2} = \frac{I_{т.ном.н.н} \cdot K_{сх}^{(3)}}{K_{т.с.н.н}} = \frac{1539,6 \cdot 1}{477} = 3,22 \text{ А}. \quad (3.44)$$

Сторону ВН приймаємо за основу, тоді:

$$I_{с.р.осн} = I_{с.р.в.н} = \frac{I_{с.з} \cdot K_{сх}^{(3)}}{K_{т.с.в.н}} = \frac{209,94 \cdot \sqrt{3}}{69} = 5,26 \text{ А}. \quad (3.45)$$

Приведений до сторони НН первинний максимальний струм небалансу:

$$I_{нб.роз} = \frac{(K_{апер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{реч} + \Delta S_{вир}) \cdot I_{к зовн.мах}^{(3)}}{K_{т.с.н.н}},$$

де $K_{апер}$ – коефіцієнт аперіодичності;

$K_{одн}$ – коефіцієнт однорідності ТС;

$\varepsilon = 0,1$ – відносна допустима похибка ТС;

$\Delta U_{реч}$ – відносна похибка регулювання напруги;

$I_{к зовн.мах}^{(3)}$ – максимальний зовнішній струм КЗ.

$$I_{к зовн.мах}^{(3)} = I_{т max}^{(3)} \approx I_{т ав.мах}^{(3)} + 0,6 \cdot I_{min.реч}^{(3)},$$

де $I_{т ав.мах}^{(3)} = I_{к max.в.н}^{(3)}$.

$$I_{к зовн.мах}^{(3)} = 1264,27 + 0,6 \cdot 139,96 = 1348,25 \text{ А}.$$

Отже,

$$I_{нб.роз} = \frac{(1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,0126) \cdot 1348,25}{477} = 0,65.$$

Мінімальний коефіцієнт чутливості при двофазному КЗ на стороні НН:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_{2\min} = \frac{1,5 \cdot I_{k \min.н.н}^{(3)}}{K_{т.с.н.н}} = \frac{1,5 \cdot 23552,29}{477} = 74,06 > 2,$$

$K_{2\min} > 2$, отже чутливість МІСОМ достатня.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розроблена схема захисту силового трансформатору ТРДН-32000/154/6 на базі мікропроцесорних реле МіСОМ Р64х, зокрема, Р643, яке рекомендовані для залучення до захисту трансформаторів з трьома обмотками. Обчислені всі налаштування уставок максимального струмового захисту, захисту від перевантаження, диференціального захисту.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Висновки

У бакалаврській роботі створено раціональний проєкт модернізації системи електропостачання ПС КРЗ-9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що відповідає всім вимогам щодо надійності, безпеки та ефективності:

1. Проаналізовано існуючу електричну мережі та обладнання ПС КРЗ-9. Визначено характеристики ліній електропередачі, що живлять підстанцію, та фідерів. Оцінено стан наявного обладнання. Вивчено категорії та потужність споживачів, що підключені до підстанції, щоб зрозуміти поточне навантаження на систему.

2. Розраховано навантаження підстанції КРЗ-9. Було визначено необхідну номінальну потужність трансформаторів, щоб забезпечити безперебійне електропостачання всіх споживачів підстанції. Також було розглянуто питання резервування, що передбачає наявність додаткових трансформаторів для випадків аварійних відключень або технічного обслуговування.

3. Проведено вибір та розрахунок комутаційного обладнання. На основі розрахованих навантажень було підібрано відповідні вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники та інше обладнання.

4. Розроблена схема захисту силового трансформатору ТРДН-32000/154/6 на базі мікропроцесорних реле MiCOM P64x, зокрема, P643, яке рекомендовані для залучення до захисту трансформаторів з трьома обмотками. Обчислені всі налаштування уставок максимального струмового захисту, захисту від перевантаження, диференціального захисту.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303с-27	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68