

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту
Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський
« ____ » _____ 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
тема «Аналіз роботи та модернізація електричного обладнання
підстанції»

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ-71

Чеботар І. С.

Керівник

к.т.н, доцент

Волохін В.В.

Консультант з іноземної мови:

к.п.н, доцент

Усенко Н.М.

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. катедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

« ___ » _____ 2021 р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Чеботаря Івана Сергійовича

1. Тема роботи «Аналіз роботи та модернізація електричного обладнання підстанції»

Затверджено наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи графіки добового навантаження, схема нормального режиму роботи підстанції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

- аналіз та конструкція підстанції

- перевірка силових трансформаторів на перевантаження

- вибір комутаційного апарату

- вибір релейного захисту

- розрахунок зони захисту та висоти блискавковідводів

5. Перелік графічного матеріалу

- схема підстанції до реконструкції

- схема підстанції після реконструкції

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Найменування етапів виконання роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз та конструкція підстанції	28.04 – 3.05.2021 р.	
2	Перевірка силових трансформаторів	4.05 – 14.05.2021 р.	
3	Вибір комутаційного апарату	15.05 – 20.05.2021р.	
4	Розрахунок зони захисту та висоти блискавковідводів	21.05 – 30.05.2021 р.	

Студент -дипломник

Чеботар Іван Сергійович

Керівник роботи

Волохін Віталій Васильович

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Реферат

61 сторінки, 10 рисунків, 13 таблиць, 22 джерела

Бібліографічний опис: Чеботар І. С. Аналіз роботи та модернізація електричного обладнання підстанції: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка /І. С. Чеботар; наук. керівник В.В. Волохін – Суми: СумДУ, 2021. – с.

Ключові слова: високовольтні парати, підстанція, силовий трансформатор, схема нормального режиму роботи, блискавкозахист, вимикач;

высоковольтные аппараты, подстанция, силовой трансформатор, схема нормального режима работы, молниезащита, выключатель;

high-voltage devices, substation, power transformer, normal operation scheme, lightning protection, switcher.

Короткий огляд – В роботі досліджено конструкція та обладнання високовольтної підстанції при нормальному режимі роботи. Виконана перевірку силових трансформаторів на предмет перевантаження. Перевірено грозозахист електричної підстанції, а саме розраховані зони захисту та висота блискавковідводів. Був досліджений та замінений вимикач і релейний захист силових трансформаторів Розрахунки проводились за допомогою програмного забезпечення Microsoft Exel, Microsoft Word, а також MathCAD 15.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз роботи підстанції	9
1.1 Характеристика підстанції	9
1.2 Конструкція підстанції	10
1.3 Висновки до роботи підстанції	10
2 Перевірка силових транс	15
2.1 Перевірка 1Т ТДТН – 16000/110	15
2.2 Перевірка 2Т ТДТН – 16000/110	20
3 Вибір комутаційних приладів та апаратів захисту	25
3.1 Розрахунок струмів короткого замикання	25
3.2 Аналіз вимикача на ЗРП – 10	29
3.3 Вибір вимикача на ЗРП - 10 кВ	30
3.4 Вибір релейного захисту	32
4 Блискавкозахист ВРП – 110 кВ	42
4.1 Розрахунок блискавковідводів	44
4.2 Розрахунок зон захисту	45
Висновок	52
Додаток А	53
Додаток Б	54
Додаток В	56
Додаток Г	57
Додаток І	59
Джерела інформації	60

Перелік умовних скорочень

ВРУ – відкрита розподільча установка

ЗРУ – закрита розподільча установка

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

ПС – підстанція

ВН – сторона високої напруги

НН – сторона низької напруги

ТС – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

ДСТУ – державний стандарт України

ЛЕП – лінія електропередавання

ВРП – відкритий розподільний пункт

ЗРП – закритий розподільний пункт

АВР – автоматичне ввімкнення резерву

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Основою будь-якого прогресу є енергія. Якими б не були природні ресурси держави чи нації, вони можуть бути корисними лише у разі їх правильного використання чи обміну на інші товари. Даний процес унеможлиблюється без енергії. Енергетична промисловість займає одну з найважливіших ролей з точки зору національного соціально-економічного розвитку. З усіх частин, з яких складається енергетична промисловість, електрика має найбільший вплив на життя та розвиток людей.

Підстанції є дуже важливим елементом в системах електропостачання, які призначені саме для перетворення та розподілу енергії. Тому перебої в подачі електроенергії через, наприклад, застарілість обладнання є серйозною проблемою, оскільки дана енергосистема забезпечує електричним струмом як великих, так і дрібних споживачів. Особливо зараз, коли технічний прогрес в енергобудівництві зростає невпинними кроками.

В даній роботі пропонується до розгляду аналіз роботи та модернізація електричного обладнання підстанції на 110/35/10 кВ, яка розташована в Сумській області. Дана тема є актуальною, адже підстанція знаходиться у використанні з 1983 року, тому деякі елементи системи вже майже відпрацювали свій нормативний експлуатаційний ресурс і потребують аналізу та модернізації.

Для виконання завдання будуть проведені наступні роботи:

- 1) аналіз електричного обладнання та конструкції підстанції;
- 2) перевірка силових трансформаторів;
- 3) вибір комутаційного апарату;
- 4) встановлення грозозахисту.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.1 – Карта-схема існуючих електричних мереж 35-110 кВ в
Сумському районі

Більшу карту-схему можна знайти в додатку А.

Підстанція має дві відкриті розподільні установки (на схемі – ОРУ-110 кВ та ОРУ-35 кВ) на стороні 110 кВ та 35 кВ відповідно та комплектну розподільну установку на 10 кВ зовнішнього встановлення.

1.2 Конструкція підстанції

На стороні відкритого розподільного пункту на 110 кВ два найпотужніших трансформатори підстанції ТДТН-16000/110, котрі позначені на схемі 1Т та 2Т. На шляху від ліній живлення встановлені 4 роз'єднувачі типу РНДЗ – 110/1000 У1 зовнішнього встановлення на 1000 А з ножами заземлення, котрі позначені на схемі 1Р, 2Р, 3Р, 4Р. Далі – 2 відокремлювача ОД – 110/1А 1000 У1, які позначені ОД – 1Т та ОД – 2Т та потрібні для автоматичного відключення пошкодженої ділянки лінії електропостачання або трансформатора після створення штучного КЗ короткозамикачем, саме який представлений на схемі електроприладом типу КЗ – 110М (на схемі КЗ – 1Т, КЗ – 2Т) та потрібен для швидкого створення потужного короткого замикання при внутрішніх пошкодженнях трансформатора.

На початку мережі , яка прямує з ПС «Вузлова» встановлений конденсатор СМП – 66/1,73 – 4,4 У1 для забезпечення високочастотного сигналу в проміжку 24 – 1500 кГц на лініях 35 – 500 кВ. Дана модель конденсатора просякнута в екологічно безпечному конденсаторному маслі, тому його використання не наносить шкоди навколишньому середовищу.

Одразу після конденсатора вмикається спіральний загороджувач типу ЗВС 10 для послаблення шунтуючої дії шин підстанцій на лінійний сигнал високочастотного каналу. Цей прилад вмикається в розтин фазного проводу повітряної лінії на конденсаторах зв'язку.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту від атмосферних перенапруг ізоляції електрообладнання напругою 110 кВ використовують вентильні розрядники серії РВС – 110 та розрядники РВС – 35+15 для захисту трансформаторного обладнання на сторонах середньої та низької напруг. Поруч із розрядниками, для заземлення нейтралей силових трансформаторів встановлені модернізовані однополюсні заземлювачі типу ЗОН – 110М.

Для захисту електрообладнання мережі з ізолюваною нейтралю при змінному струмі частотою 50 Гц від атмосферних та комутаційних перенапружень використовують обмежувачі з полімерними (ОПН – П35) покриттями, котрі позначені на схемі як ОПН – 35 – 1Т, ОПН – 35 – 2Т.

Нагадаю, що наступний відкритий розподільний пункт на 35 кВ представляє собою класичну схему побудови мережі живлення з роздільною роботою ліній та автоматичним ввімкненням резерву у випадку, коли обидві лінії живлення знаходяться під навантаженням, при нормальному режимі роботи. На стороні цього пункту на кожному з виходів встановлені роз'єднувачі на 35 кВ з робочим струмом в 1000 А з одним заземлюючим ножем без ламелей для включення чи відключення знеструмлених ділянок кола, які знаходяться під напругою. Дані роз'єднувачі представлені приладами типу РНДЗ – 1Б/35 – 1000 У1 та позначені на схемі ШР, СР – 1, СР – 2, ТР – 35 – 1Т, ТР – 35 – 2Т.

Щоб передавати сингал вимірювальної інформації до вимірювальних пристроїв використовують звичайні трансформатори струму ТТ – 35 кВ чи масло наповнені трансформатори струму для зовнішнього встановлення типу ТФЗМ – 35, 200/35. Трансформатори напруги типу ЗНОМ – 35 призначені для заземлення та для безпечного передавання того ж вимірюваного сигналу для лічильників на високовольтних станціях.

На комірках під номером 3, 4 ,6, 7 встановлені вакуумні вимикачі серії ВР35НСМ – 35 – 20/1600 У1. Дані вимикачі призначені для комутації високовольтних електричних кіл в нормальному чи аварійному режимах. Встановлюються на відкритих розподільчих пунктах 35 кВ, мають

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

номінальний струм відключення 20 кА при номінальному в 1600 А. Особливість конструкції даної моделі полягає у пружинному приводі вимикача. На схемі вони позначені великими літерами ВВ в прямокутниках.

На комірці під номером 5 встановлена система автоматичного ввімкнення резерву, про яку було зазначено вище. Дана система секціонує систему шин, в результаті чого маємо дві системи на 35 кВ, котрі позначені на схемі як 1СШ – 35 кВ та 2 СШ – 35 кВ. АВР оснащена високовольтним трьохполюсним масляним вимикачем типу С – 35М – 630 з номінальним струмом відключення в 10 кА для комутації електричної лінії в нормальному режимі. Даний вимикач позначений на схемі як МВ – 35.

Наступний розподільчий пункт на 10 кВ, як і попередній, захищений від комутаційних перенапружень обмежувачами з полімерними покриттями, типу ОПН – П – 10 – 12,7/10/550 (ОПН – 10 – 1Т, ОПН – 10 – 2Т).

Дана мережа теж має пункт аварійного ввімкнення резерву та теж має дві системи шин на 10 кВ 1 СШ – 10 кВ, 2 СШ – 10 кВ. На кожній системі встановлений високовольтний масляний трансформатор власних потреб ТМ 100/10 – 66 У1 для пониження напруги лінії до нормального рівня для споживання. Позначення даних трансформаторів на схемі ТСН – 1, ТСН – 2.

Для захисту даних трансформаторів від пошкоджень при КЗ чи перевантаженні встановлені високовольтні запобіжники типу ПКТ – 10 (РТСН-1, РТСН – 2 на схемі).

Повертаючись до АВР , потрібно сказати , що цей пункт оснащений високовольтним вакуумним вимикачем серії ВВ/TEL – 10 – 20/1000 з номінальним струмом відключення 20 кА, який призначений для роботи саме в комплексних розподільчих пристроях. У ролі захисту та передачі вимірювального сигналу виступає вбудований сухий трансформатор ТВЛМ-10.

На схемі позначені два основних вимикачі 1В та 2В, котрі призначені для включення чи відключення будь-якої із живлячих ліній. Перший вимикач 1В представлений у вигляді мало масляного високовольтного вимикача

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ВМПП – 10 з вже знайомим пружинним приводом та номінальним струмом 1000 А. Другий вимикач 2В, вже вакуумний, моделі ВВ/TEL – 10 – 20/1600 з номінальним струмом 1600 А. Для передачі сигналів, перетворення сили струму чи ізоляції вторинних кіл використовують такі трансформатори струму як ТВЛМ – 10, ТЛМ – 10, ТОЛУ – 10, ТПЛУ – 10.

Лінії споживачів «Господарський двір», «Тисячник», «Водозабір» та села Рудневка обслуговуються вбудованими трансформаторами струму ТВЛМ 10 100/5. Для комутації встановлені вакуумні вимикачі ВВ/TEL 10 20/1000.

На секціях також встановлені трансформатори напруги для власних потреб НАМИ – 1 – 10 У2. Вони виконують функції заземлення, перетворення напруги змінного струму та передачі сигналу до вимірювальних приладів. Захист цих трансформаторів від КЗ чи перенапруги виконує все теж високовольтний запобіжник ПКТ – 10.

Варто зазначити, що графічне позначення вимикачів, встановлених на АВР розподільних пунктів на 35 та 10 кВ відповідно мають темне забарвлення. Дана особливість означає те, що дані вимикачі знаходяться у вимкненому стані, тобто секції шин СШ – 35 кВ та СШ – 10 кВ розімкнуті. В такому випадку вся схема працює в нормальному режимі роботи і живлення розподільного пункту відбувається двома рівноцінними лініями живлення. У разі відключення однієї з ліній живлення через пошкодження все навантаження перекладається на працюючу лінію живлення до кінця виконання ремонтних робіт першої.

1.3 Висновки до роботи підстанції.

З огляду характеристики та конструкції підстанції можна зробити висновок, що даний об'єкт займає велику роль в електропостачанні Сумського району та Сумської області в цілому.

Підстанція є джерелом живлення для споживачів різних категорій, від звичайних жилих будинків довколишніх сіл до промислових об'єктів, припинення електропостачання яких може призвести до масової не віддачі чи

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

браку продукції. Також, у плані розвитку системи розподілу Сумської області на 2020-2024 роки, до ПС приєднують сонячну електростанцію ПП «Самаель» повітряною лінією в 110 кВ.

Даний факт свідчить про те, що ПС стає важливою ланкою у системі постачання та розподілу екологічно чистої відновлювальної енергії, тому заміна чи модернізація обладнання, задля забезпечення непереривності та безперебійності роботи підстанції – одна з найважливіших цілей.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2. ПЕРЕВІРКА СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Силовий трансформатор – потужний пристрій високої напруги, одна з найважливіших частин будь-якого електричного об'єкту. Дані апарати призначені для трансформації та розподілу енергії, якої вистачає на стабільну роботу населених пунктів, промислових підприємств чи менш потужних підстанцій.

Технічний прогрес не стоїть на місці, а разом із ним зростає кількість населення. Беручи до уваги даний факт, можна сказати, що разом із цими факторами зростає і енергетичний попит, відповідно навантаження на силові розподільчі пристрої збільшується. В цьому випадку розумно було б зробити перевірку даних апаратів на стійкість до навантажень при нормальних та аварійних режимах, оскільки дані силові трансформатори підстанції ТДТН-16000/110 знаходяться в експлуатації вже з кінця минулого сторіччя і, можливо не розраховані на сучасний рівень навантажень.

Тому у наступних двох підрозділах буде виконана перевірка цих трансформаторів, використовуючи добові графіки навантаження.

Проаналізувавши дані українського гідрометеорологічного центру^[13] можна визначити, що середньорічна температура Сумського району складає +7,5°C, тому за ГОСТ-14209-85 була обрана максимально ближча температура навколишнього середовища в +10°C.

2.1 Перевірка 1Т ТДТН – 16000/110

Перший трансформатор отримує електричну енергію напругою в 110 кВ від лінії, котра з'єднує дві підстанції «Білопілля» та «Суми – Північна». Нижче представлений добовий графік навантаження трансформатору та таблиця добового навантаження у відсотках від номінальної потужності.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахований на такі навантаження, тому його потужності не достатньо по нормальній та безперебійній роботі підстанції.

Дана ситуація могла б бути вирішена за допомогою, модернізації системи охолодження трансформатора, тобто встановлення системи «ДЦ», бо в даному випадку використовується масляний трансформатор с системою охолодження «Д», що означає природну циркуляцію масла. В свою чергу позначення «ДЦ» означають примусову циркуляцію масла та повітря.

Нажаль даний вид охолодження широко використовується для трансформаторів потужністю вище 20 МВА, а наш апарат відноситься до трансформаторів середньої потужності 10 – 20 МВА. При встановлені такої системи охолодження потужності електродвигунів насосів і вентиляторів в даному випадку будуть сумірні з відносно невеликими втратами трансформатора, що є не зовсім вигідним з економічного плану.

Виходячи з цього я пропоную обрати трансформатор, на 1 порядок потужності більше, а саме ТДТН – 25000/100. Нижче представлена таблиця його характеристик:

Таблиця 2.1.3 – технічні характеристики трансформатора ТДТН-25000/110.

Назва параметру, одиниці вимірювання	Значення параметрів
Номінальна потужність, кВА	25000
Номінальна напруга, кВ:	
- ВН	115
- СН	38,5
- НН	6,6; (11)
Схема та група з'єднання обмоток	У _Н /У _Н /Д-0-11
Втрати, кВт:	
- холостий хід	24
- коротке замикання	140

Напруга короткого замикання, %:	
- ВН-СН	10,5
- ВН-НН	17,5
- СН-НН	6,5
Струм холостого ходу, %	0,3

Даний трансформатор має більший запас потужності, що може задовольнити умови навантаження підстанції, або дає можливість встановити модернізовану систему охолодження з примусовою циркуляцією повітря та масла. Дана модернізація може бути можлива при підвищенні енергетичного попиту споживачів підстанції.

2.2 Перевірка 2Т ТДТН – 16000/110

Перевірка першого трансформатора показала, що дані заходи слід проводити, щоб зберегти лінію електропередачі та сам трансформатор від пошкоджень викликаних перевантаженням. Беручи до уваги той факт, що від другого трансформатора живиться інша повноцінна лінія, яка може мати інший характер навантаження порівняно із лінією трансформатора 1Т, його перевірка може показати необхідність заміни чи модернізації.

Другий трансформатор отримує електричну енергію напругою в 110 кВ від лінії, котра прямує від підстанції «Вузлова». Нижче представлений добовий графік навантаження трансформатора та таблиця добового навантаження у відсотках від номінальної потужності.

Таблиця 2.2.1 – Добове навантаження у % від номінальної потужності

Час доби, год	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Навантаження, %	80	75	90	87	93	90	87	93	115	145	128	87

Далі представлена таблиця добових навантажень від номінальної потужності.

Таблиця 2.2.2 - таблиця добових навантажень від повної номінальної потужності

Год.	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
%	80	75	90	87	93	90	87	93	115	145	128	87
S_{1-12} , МВА	14,6	13,6	16,4	15,8	16,9	16,4	15,8	16,9	20,9	26,4	23,3	15,8

Початкове навантаження еквівалентного графіка визначається за формулою:

$$K_1 = \frac{1}{S_{НОМ.ТР.}} \times \sqrt{\frac{S_1^2 \times t_1 + S_2^2 \times t_2 + \dots + S_n^2 \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (3)$$

де S_1, S_2, S_n – власне навантаження першого; другого; n-го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора (або на ній);

t_1, t_2, t_n – тривалість ступеня, година.

$$K_1 = \frac{\sqrt{\frac{S_1^2 \times t_1 + S_2^2 \times t_2 + S_3^2 \times t_3 + S_4^2 \times t_4 + S_5^2 \times t_5 + S_6^2 \times t_6 + S_7^2 \times t_7 + S_8^2 \times t_8 + S_{12}^2 \times t_{12}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_{12}}}}{S_{НОМ.ТР.}} =$$

$$= \frac{1}{16} \times \sqrt{\frac{14,6^2 \times 2 + 13,6^2 \times 2 + 16,4^2 \times 4 + 16,9^2 \times 4 + 15,8^2 \times 6}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}} = 0,99$$

Розрахунок другого ступеня виконується за такою ж формулою (3), тільки в цьому випадку обирається навантаження, яке розташоване вище лінії номінальної потужності трансформатора та тривалість даних ступенів відповідно:

трансформаторів при нормальних та аварійних умовах навантаження. Адже конкретно цей показав, що трансформатори, введені в експлуатацію у 1983 році, не розраховані до сучасних рівнів навантаження та потребують заміни.

Обрані замість них трансформатори марки ТДТН – 25000/110 мають достатній запас потужності для якісного постачання електроенергії споживачам з додатковою опцією модернізації. Схема будови трансформаторів та реальні зображення розташовані в додатку Б.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає $S_{кз.с} = 25000$ МВА.

З'єднання ліній довжиною 25,3 км та 38,7 км відповідно, як вже було зазначено вище виконане за допомогою проводу марки АС – 150/24. За допомогою таблиці, зазначеної в додатку В, обираємо значення опору проводу нашої марки напругою 110 кВ на 100 км лінії, тому $x_0=0,42$ Ом/км.

Тепер, знаючи потрібні на параметри визначаємо опір працюючих ліній за наступними формулами:

$$X_{L1} = x_0 * L_1 = 0,42 \times 25,3 = 10,63 \text{ (Ом)};$$

$$X_{L2} = x_0 * L_2 = 0,42 \times 38,7 = 16,25 \text{ (Ом)},$$

де L_1 та L_2 – довжини ліній електропередавання;

$$X_L = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}} = \frac{10,63 \cdot 16,25}{10,63 + 16,25} = 6,43 \text{ Ом};$$

Після розрахунку опору ліній потрібно розрахувати опір встановлених силових трансформаторів, використовуючи параметри з таблиці 2.1.3:

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{u_k \% * U_H^2}{100 * S_{НОМ}} = \frac{10,5 * 110^2 * 10^6}{100 * 25 * 10^6} = 50,82 \text{ (Ом)};$$

Так як на лінії два паралельно працюючих трансформатора, то опір буде:

$$X_T = \frac{X_{T1}}{2} = \frac{50,82}{2} = 25,41 \text{ Ом};$$

Тепер, визначимо опір системи:

$$X_C = \frac{U_B^2}{S_{кз}} = \frac{110^2 \cdot 10^6}{25000 \cdot 10^6} = 0,484 \text{ (Ом)};$$

Періодична складова СКЗ у точці K_1 :

$$I_{K1} = \frac{U_B}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_L)} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (0,484 + 6,43)} = 9,2 \text{ кА};$$

Періодична складова СКЗ у точці K_2 :

$$I_{K2} = \frac{U_B}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_L + X_T)} \cdot \frac{U_B}{U_H} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (0,48 + 6,43 + 25,4)} \cdot \frac{110 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \\ = 21,6 \text{ (кА)}$$

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

БР 3.6.141.497.ПЗ

Ударний струм:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 9,2 = 20,95 \text{ кА};$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 21,6 = 49,18 \text{ кА};$$

Вважаємо, амплітуду ЕРС і періодична складова струму КЗ незмінні в часі, тому через час, який дорівнює часу відключення:

$$I_{нт1} = I_{K1} = 9,2 \text{ кА} \quad \text{для точки } K_1$$

$$I_{нт2} = I_{K2} = 21,6 \text{ кА} \quad \text{для точки } K_2$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача:

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{нт1} \cdot e^{-\frac{t_1}{T_{a1}}} = \sqrt{2} \cdot 9,2 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 1,18 \text{ кА};$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{нт2} \cdot e^{-\frac{t_2}{T_{a2}}} = \sqrt{2} \cdot 21,6 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 4,13 \text{ кА};$$

де T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової ;

$$T_{a1} = 0,025 \text{ с}, \quad t_1 = 0,06 \text{ с}, \quad T_{a2} = 0,05 \text{ с}, \quad t_2 = 0,1 \text{ с}$$

Інтергал Джоуля (термічна стійкість):

$$B_{R1} = I_{K1}^2 (t + T_a) = 9,2^2 \cdot (0,06 + 0,025) = 7,2 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{R2} = I_{K2}^2 (t + T_a) = 21,6^2 \cdot (0,1 + 0,05) = 69,98 \text{ кА}^2\text{с};$$

Результати розрахунків зведені в таблиці 4.1.1.

Таблиця 3.1.1 – Параметри струму КЗ за сторонах 110 кВ та 10 кВ

Точка КЗ	Період. склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період. склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод. склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, кА ² с
Шини 110 кВ (K ₁)	9,2	20,95	9,2	1,18	7,2
Шини 10 кВ (K ₂)	21,6	49,18	21,6	4,13	69,98

3.2 Аналіз вимикача на ЗРП – 10 кВ

Вимикачі – це найважливіший елемент обладнання розподільчих пристроїв підстанцій, так як даний комутаційний апарат здійснює включення і відключення ділянок електричної мережі під робочим струмом навантаження та під дуже великими струмами короткого замикання, в разі виникнення аварійних ситуацій.

Від якості та безперебійності їх роботи залежить надійність електропостачання споживачів, а також збереження цілісності обладнання в разі виникнення аварійних режимів. Отже, питання вибору високовольтних вимикачів є одним з найголовніших.

На КРУН – 10 кВ на 7 комірці встановлений масляний вимикач типу ВМПП – 10/1000. Це трьохполюсний комутаційний апарат призначений для роботи в закритих розподільних установках напругою 10кВ. Але дані вимикачі масляного типу починають відходити на другий план, поступаючись більш ефективним вакуумним чи елегазовим через низку недоліків.

Масляні вимикачі мають малий міжремонтний ресурс. Тому як правило, після семи автоматичних відключень струмів короткого замикання, необхідно виконувати капітальний ремонт комутаційного апарату. Це обумовлено в першу чергу тим, що при такій кількості аварійних ситуацій трансформаторне масло втрачає свої ізоляційні і дугогасні властивості, тому воно підлягає заміні.

Ці пристрої є небезпечними з точки зору пожежної безпеки, так як вони містять певна кількість легкозаймистої рідини. Через це у розподільних пристроях з масляними вимикачами пред'являються підвищені вимоги пожежної безпеки.

Також, наслідком використання масляних вимикачів є забруднення навколишнього середовища, оскільки трансформаторне масло, що міститься в баках даних вимикачів, нерідко потрапляє в ґрунт через порушення

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цілісності конструкції баків, а також в разі виникнення аварійної ситуації, що супроводжується витокм масла з бака.

В загалом дані вимикачі складні в обслуговуванні та відносно великі в габаритах через вміст масла. Вони застарілі в економічно технічному плані та програють елегазовим та вакуумним вимикачам по багатьом параметрам.

Ці пристрої значно надійніші та мають вищу електричну міцність дугогасильного середовища - одна з найважливіших характеристик вимикачів. Вони не мають масла, тому більш безпечніші для навколишнього середовища. Враховуючи всі властивості цих вимикачів, було зроблено висновок замінити вимикач на ЗРП – 10 кВ на вакуумний через низку причин.

По-перше, в екологічному питанні вони найбезпечніші. Оскільки елегазовий вважається відносно безпечним через виділення під час роботи небезпечного для природи елегазу. Вакуумний вимикач з точки зору екології, є нешкідливим, оскільки він не містить ніяких шкідливих речовин, бо його робоче дугогасне середовище – вакуум.

По-друге, вакуумний вимикач не вимагає обслуговування дугогасильної і контактної частин, тому що він має більш просту конструкцію, в порівнянні з іншими вимикачами. З цього можна зробити висновок, що його легке обслуговування не потребує застосування спеціалізованого обладнання чи інструменту.

Після обраного типу нового вимикача, треба виконати вибір конкретної моделі, використовуючи параметри струму КЗ з таблиці 3.1.1, які були розраховані для сторони 10 кВ.

3.3 Вибір вимикача на стороні ЗРП – 10 кВ

Оскільки на підстанції встановлений силовий трансформатора, то для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Вибір релейного захисту

Для запобігання пошкодження обладнання при аварійних ситуаціях використовується релейний захист. Цей засіб виявляє, реєструє та сигналізує про можливі відхилення від нормативних експлуатаційних параметрів обслуговуваної системи.

Основною метою застосування систем РЗ є забезпечення стабільності роботи енергетичного обладнання, тому у цьому підрозділі буде представлена матеріал по вибору релейного захисту для силових трансформаторів підстанції. Робота полягає у виконанні розрахунків поздовжнього диференціального струмового захисту від усіх видів замикань на виводах і в обмотках сторін з заземленою нейтраллю, а також від багатофазних замикань на виводах і в обмотках сторін з ізольованою нейтраллю.

Захисту підлягають трансформатори ТДТН – 25000/110 тому нижче представлені технічні характеристики цих апаратів.

Межі регулювання $\Delta U = 0,16$;

$X_{с.мін} = 12 \text{ Ом}$; $X_{с.макс} = 18 \text{ Ом}$;

Тепер, потрібно розрахувати струми КЗ при максимальному та мінімальному режимах, приведених до високої напруги 110 кВ.

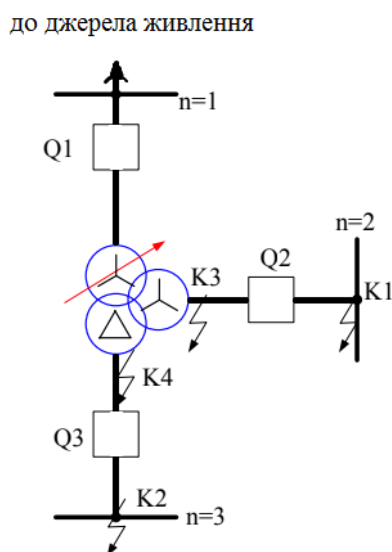


Рисунок 3.4.1 – Схема включення трансформатора під захистом

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 3.6.141.497.ПЗ				

Таблиця 3.4.1 – технічні характеристики трансформатора ТДТН-25000/110.

Назва параметру, одиниці вимірювання	Значення параметрів
Номінальна потужність, кВА	25000
Номінальна напруга, кВ:	
- ВН	115
- СН	38,5
- НН	6,6; (11)
Схема та група з'єднання обмоток	У _Н /У _Н /Д-0-11
Втрати, кВт:	
- холостий хід	24
- коротке замикання	140
Напруга короткого замикання, %:	
- ВН-СН	10,5
- ВН-НН	17,5
- СН-НН	6,5
Струм холостого ходу, %	0,3

Для початку потрібно знайти реактивний опір трансформатора, а для цього треба розрахувати напруги КЗ:

$$U_{кВС} = U_{кВН} - U_{кСН} = 17,5 - 6,5 = 11 \%$$

$$U_{кВ} = (U_{кВС} + U_{кВН} - U_{кСН}) \cdot 0,5 = (11 + 17,5 - 6,5) \cdot 0,5 = 11\%$$

$$U_{кС} = (U_{кВС} - U_{кВН} + U_{кСН}) \cdot 0,5 = (11 - 17,5 + 6,5) \cdot 0,5 = 0\%$$

$$U_{кН} = (U_{кСН} + U_{кВН} - U_{кВС}) \cdot 0,5 = (6,5 + 17,5 - 11) \cdot 0,5 = 6,5\%$$

Далі, розраховуємо реактивний опір трансформатора:

$$X_{ТВ} = \frac{U_{кВ}}{100} \frac{U_{НОМ.В}^2}{S_{НОМ}} = \frac{11}{100} \frac{(115 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 58,2 \text{ (Ом)};$$

$$X_{ТС} = \frac{U_{кН}}{100} \frac{U_{НОМ.Н}^2}{S_{НОМ}} \approx 0 \text{ Ом};$$

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4.2 - розрахунок первинних і вторинних струмів сторін трансформатора

Параметри	I-ВН- 115 кВ	II-СН- 38,5 кВ	III-НН- 11 кВ
$I_{\text{НОМ}}, \text{A}$	$\frac{25000}{(\sqrt{3} \cdot 115)} = 125,5$	$\frac{25000}{(\sqrt{3} \cdot 38,5)} = 375$	$\frac{25000}{(\sqrt{3} \cdot 11)} = 1312$
$k_{\text{ТА}}$	150/5	400/5	1500/5
Схема з'єднання ТТ	зірка	зірка	трикутник
$I_{\text{В.НОМ}}, \text{A}$	$\frac{125,5 \cdot 1}{150/5} = 4,18$	$\frac{375 \cdot 1}{400/5} = 4,688$	$\frac{1312 \cdot \sqrt{3}}{1500/5} = 7,575$

Струм спрацювання захисту визначається по більшому із двох значень:

а) Відстройка від кидка струму намагнічування

$$I_{\text{с.з.нам}} = k_{\text{отс}} I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot 125,5 = 163,15 \text{ (A)};$$

б) Відстройка від струму небалансу

$$I_{\text{с.з.неб}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II}) I_{\text{КС.макс}}^{(3)} = 1,3 \cdot (0,1 + 0,12 + 0,05) \cdot 1250 = 438,75 \text{ (A)};$$

Приймаємо значення $I_{\text{с.з.неб}} = 438,75 \text{ A}$

Тепер, проводимо перевірку на чутливість захисту по первинним струмам при двухфазному КЗ на шинах НН:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КН.мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.неб}}} = \frac{415}{438,75} = 0,95 < 2$$

З розрахунку видно, що реле типу РНТ не може забезпечити необхідної чутливості захисту. Тому для перевірки на чутливість візьмемо наступне реле типу ДЗТ-11.

Вибираємо струм спрацювання захисту:

а) Відстройка від кидка струму намагнічування:

$$I_{с.з.нам} = k_{отс} I_{ном} = 1,5 \cdot 125,5 = 188,25 \text{ А};$$

б) Відстройка від струму небалансу при КЗ на шинах СН:

$$I_{с.з.небС} = k_3 (k_{одн} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II}) I_{кС.макс}^{(3)} = 1,5 \cdot (0,1 + 0,12 + 0,05) \cdot 1250 = 506,25 \text{ кА};$$

в) Відстройка від струму небалансу при КЗ на шинах НН:

$$I_{с.з.небН} = k_3 (k_{одн} \varepsilon + \Delta U_I) I_{кН.макс}^{(3)} = 1,5(0,1 + 0,12) \cdot 834 = 275,2 \text{ А};$$

Приймаємо реле ДЗТ-11 зі встановленою гальмівною обмоткою по стороні СН. Тоді струм спрацювання захисту приймаємо більшим із значень а) та в):

$$I_{с.з.} = 275,2 \text{ А};$$

Визначаємо коефіцієнт чутливості захисту реле при КЗ на шинах НН:

$$k_ч = \frac{I_{кН.мін}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{415}{275,2} = 1,5$$

Дане значення виявилось меншим нормованого. Але, варто зазначити, що при номінальному коефіцієнті трансформації трансформатора струм КЗ буде:

$$I_{кмін}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2 \cdot (x_{с.мін} + x_{ТВ} + x_{ТН})} = \frac{115 \cdot 10^3}{2 \cdot (18 + 52,2 + 34,4)} = 549,7 \text{ (А)};$$

І в цьому випадку коефіцієнт чутливості забезпечується:

$$k_ч = \frac{I_{кмін}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{549,7}{275,2} = 2$$

Тому тепер можна зробити висновок, що захист реле ДЗТ-11 може бути використаний.

Переходимо до вибору уставок струму реле. В якості основної слід взяти сторону НН (11 кВ), тому що вона має більший вторинний номінальний струм.

Струм спрацювання реле для основної сторони визначається за виразом:

$$I_{ср.осн} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{сх} \cdot \frac{U_{ср.ном}}{U_{ном}}}{K_T} = \frac{275,2 \cdot 1 \cdot \frac{115}{11}}{1500/5} = 9,59 \text{ (А)};$$

									Арк.
									35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

БР 3.6.141.497.ПЗ

Розрахункове число витків робочої обмотки для основної сторони:

$$W_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}} = \frac{100}{9,59} = 10,42 \text{ витка}$$

Приймається $W_{\text{раб.осн}} = 10$ витків, що відповідає фактичному струму спрацювання реле:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А}$$

Розрахункові числа витків для інших сторін трансформатора:

для сторони 115 кВ

$$W_{\text{расчI}} = 10 \cdot \frac{I_{\text{в.номIII}}}{I_{\text{в.номI}}} = 10 \cdot \frac{7,575}{4,16} = 18,2$$

$$W_1 = 18$$

для сторони 35 кВ

$$W_{\text{расчII}} = 10 \cdot \frac{I_{\text{в.номIII}}}{I_{\text{в.номI}}} = 10 \cdot \frac{7,575}{4,7} = 16,1$$

$$W_2 = 16$$

Уточнений струм спрацювання захисту з урахуванням похибки вирівнювання:

$$I_{\text{с.з}} = k_3 \cdot (k_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_I + \Delta \omega_I) \cdot I_{\text{к.макс(К2)}} = 1,5(0,1 + 0,12 + 0,011) \cdot 834 = 289 \text{ А};$$

$$\Delta \omega_I = \frac{W_{\text{расчI}} - W_I}{W_{\text{расчI}}} = \frac{18,2 - 18}{18,2} = 0,011$$

Уточнений розрахунковий струм спрацювання реле:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} \cdot k_{\text{сх}} \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{ном}}}}{K_T} = \frac{289 \cdot 1 \cdot \frac{115}{11}}{1500/5} = 10,1 \text{ А};$$

Розрахунковий струм небалансу захисту при КЗ на стороні СН, де передбачено гальмування, з урахуванням похибки вирівнювання знаходиться за виразами:

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

БР 3.6.141.497.ПЗ

Для трьохобмоткового трансформатора з одностороннім живленням в якості резервного захисту рекомендується установка на стороні живлення МТЗ з пуском або без пуску по напрузі.

Спочатку визначається струм спрацювання МТЗ без пуску по напрузі:

$$I_{c.3} = \frac{k_3}{k_B} * k_c * I_{\text{нагр.макс}} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 2,5 \cdot 375 = 1406 \text{ А}$$

Чутливість захисту перевіримо при КЗ на шинах СН та НН при мінімальних розрахункових режимах:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін (К1)}}}{I_{c.3}} = 0,425 \quad \text{та} \quad k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін (К2)}}}{I_{c.3}} = 0,845$$

Оскільки чутливість МТЗ без пуску по напрузі є недостатньою, застосуємо блокування по напрузі зі сторін СН та НН трансформатора. В цьому випадку струм спрацювання захисту:

$$I_{c.3} = \frac{k_3}{k_B} I_{\text{НОМ}} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 125,5 = 188,25 \text{ А};$$

Чутливість захисту в тих же точках складає:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін (К1)}}}{I_{c.3}} = \frac{597}{188,25} = 3,17 \quad \text{та} \quad k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін (К2)}}}{I_{c.3}} = \frac{415}{188,25} = 2,22$$

Напруга спрацювання органу блокування при симетричному КЗ:

$$U_{c.3} \leq \frac{U_{\text{с.мін}}}{k_B} = \frac{0,7 \cdot 115}{1,2} = 67,083 \text{ кВ}$$

Напруга спрацювання органу блокування при несиметричному КЗ:

$$U_{2c.3} = 0,06 \cdot U_{\text{НОМ}} = 0,06 \cdot 115 = 6,9 \text{ кВ}$$

Чутливість блокуючих органів перевіряється при КЗ на приймаючих сторонах трансформатора, куди і підключені блокуючі реле

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{к.зах} = 0, \text{ а } U_{2к.зах} = \frac{U_{\phi}}{2} = \frac{115}{2 \cdot \sqrt{3}} = 33,198 \text{ кВ}$$

Тоді

$$k_{чU} = \frac{U_{с.з}}{U_{к.макс}} = \frac{67.083}{0} > 1.5$$

$$k_{чU} = \frac{U_{2к.зах}}{U_{2с.з}} = \frac{33.198}{6.9} = 4.8 > 1.5$$

Оскільки на приймаючих сторона трансформатора $k_{ч} > 1,5$, то диференціальні захисти шин на цих сторонах можна не встановлювати .

Струм спрацювання захисту від симетричного перевантаження, який діє на сигнал, визначається по умові відстойки від номінального струму трансформатора на стороні, де встановлений захист:

$$I_{с.з} = \frac{k_3}{k_B} \cdot I_{т.ном} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 375 = 492,188 \text{ А};$$

Витримки часу МТЗ узгоджуються з витримками часу захисту ліній на сторонах СН та НН.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4. БЛИСКАВКОЗАХИСТ ВРП – 110 кВ

Захист станцій та підстанцій від грозових перенапруг – один із найважливіших типів захисту, який повинен мати високу надійність. Оскільки пошкодження цих об'єктів характеризується значно більшими витратами на ремонт, порівняно з лініями електропередач та іншим електроустаткуванням.

Тому в даному розділі буде виконана модернізація блискавкозахисту, а саме розрахунок висоти та зони захисту ВРП – 110 кВ, відповідно до найвищого рівня надійності $P_3=0,999$ згідно за ДСТУ Б В.2.5-38:2008.

Для захисту цього відкритого розподільного пункту будуть застосовані подвійні стрижньові блискавковідводи. Висота даних споруд буде $h \leq 30$ м, адже при такій висоті вони мають найкращі показники грозозахисту, перевірені протягом багатьох років експлуатації.

Розрахунок відповідних параметрів грозозахисту береться за таблицями ДСТУ В.2.5-38:2008 для подвійних стрижньових блискавковідводів висотою $h \leq 30$ м та рівнем надійності $P_3=0,999$.

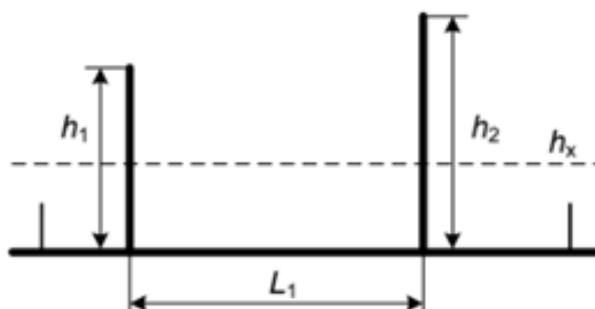
Таблиця 4.1 – Розрахунок зони захисту стрижньового блискавковідводу

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідводу h , м	Висота конуса h_0 , м	Радіус конуса r_0 , м
0,9	Від 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	Від 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	Від 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	Від 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	Від 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,999	Від 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	Від 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	Від 100 до 150	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

Таблиця 4.2 – Розрахунок параметрів зони захисту стрижньового блискавковідводу

Надійність захисту P_3	Висота блискавковідводу h , м	L_{max} , м	L_c , м
0,9	Від 0 до 30	$5,75h$	$2,5h$
	Від 30 до 100	$[5,75-3,57 \times 10^{-3}(h-30)]h$	$2,5h$
	Від 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	Від 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	Від 30 до 100	$[4,75-3,57 \times 10^{-3}(h-30)]h$	$1,5h$
	Від 100 до 150	$4,5h$	$[2,25-0,01007(h-30)]h$
0,999	Від 0 до 30	$4,24h$	$2,25h$
	Від 30 до 100	$[4,25-3,57 \times 10^{-4}(h-30)]h$	$[2,25-0,01007(h-30)]h$
	Від 100 до 150	$4h$	$1,5h$

На схемі нормального режиму підстанції елементами грозозахисту ВРП – 110 кВ виступають вентиляльні розрядники серії РВС – 110 та РВС – 35+15, модернізовані однополюсні заземлювачі типу ЗОН – 110М та обмежувачі ОПН – П35 з полімерними покриттями. Виходячи з їх розташування на кресленні можна скласти приблизну схему розташування стрижнів блискавковідводів.



(а)

Ми можемо виразити r_x як p_i , відповідно підставивши у систему рівнянь (1) дану рівність $r_{x1} = p_1$ отримаємо:

$$p_1 = \frac{0,6h_1 \times (0,7h_1 - h_x)}{0,7h_1}$$

Шляхом звичайних математичних перетворень отримаємо формулу для визначення h_1 та, підставивши відомі значення, знайдемо висоту цього параметра :

$$h_1 = \frac{p_1}{0,6} + \frac{h_x}{0,7} = \frac{8,201}{0,6} + \frac{5}{0,7} = 20,81 \text{ м} \quad (2)$$

Остаточно приймаємо висоту блискавковідводів 1 та 2 рівними $h_1=h_2=20,81\text{м}$, що задовольняє умові $h \leq 30$.

По аналогії до перших двох блискавковідводів розрахуємо висоти блискавковідводів 3 та 4, використовуючи систему рівнянь (1) та формулу (2)

$$\begin{cases} h_{on} = 0,7 h_3 \\ r_{x3} = \frac{r_{03} \times (h_{03} - h_x)}{h_{03}} \\ r_{03} = 0,6 \times h_3 \end{cases} \quad \text{за умови, що } r_{x3} = p_2$$

$$p_2 = \frac{0,6h_3 \times (0,7h_3 - h_x)}{0,7h_3}$$

$$h_3 = \frac{p_2}{0,6} + \frac{h_x}{0,7} = \frac{7,616}{0,6} + \frac{5}{0,7} = 19,83 \text{ м};$$

Отримане значення висоти $h_3 = 19,83 \text{ м}$ задовільняє умові $h \leq 30$, тому остаточно приймаємо висоту блискавковідводів $h_3= h_4=19,83 \text{ м}$

4.2 Розрахунок зон захисту

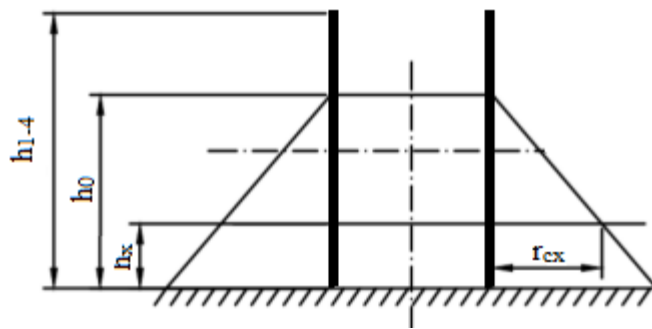
Після розрахунку висоти грозозахисту, потрібно знайти зони захисту цих подвійних блискавковідводів. Зони захисту розділяються на зовнішню та внутрішню.

Для початку, розраховуємо внутрішню за зовнішню зони захисту для блискавковідводів 1 та 2, використовуючи таблиці 3.1 та 3.2.:

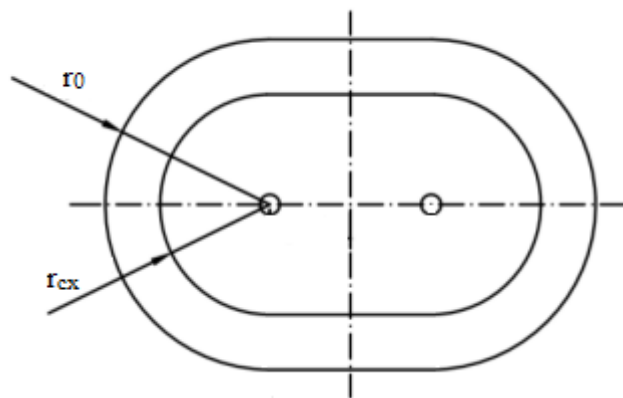
Для побудови зовнішньої зони захисту потрібно знайти значення параметрів напівконусів, де h_0 – висота напівконуса, r_0 – радіус кола основи.

$$r_{01} = r_{02} = 0,6 * h_1 = 12,486 \text{ м};$$

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



(а)



(б)

Рисунок 4.2.1 – Схема зон стрижневих блискавковідводів однієї висоти
(а – вертикальний переріз; б – горизонтальний переріз на висоті $h_x=5$ м)

Тепер, потрібно перевірити зони захисту між блискавковідводами різної висоти на різних висотах та розрахувати зони захисту цих блискавковідводів.

Перевіримо зони захисту між блискавковідводами 1 та 3 за висоти h_1 :

$$L_{C13} = 2,25 * h_1 = 2,25 * 20,81 = 46,822 \text{ м};$$

$$L_{max13} = 4,25 * h_1 = 4,25 * 20,81 = 88,442 \text{ м};$$

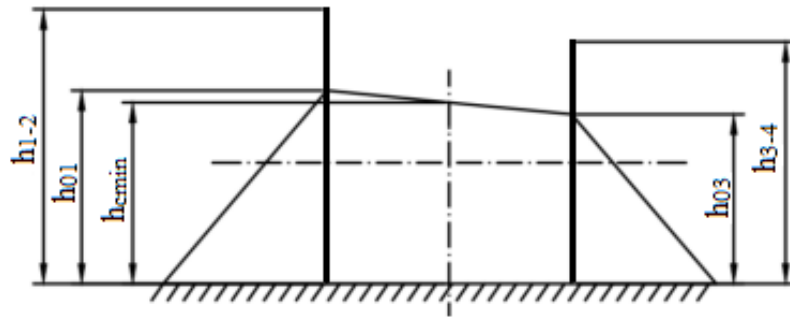
$$h_{C13} = h_{01} = 14,567 \Rightarrow L_{13} \leq L_{C13}$$

Перевіримо зони захисту між блискавковідводами 1 та 3 за висоти h_3 :

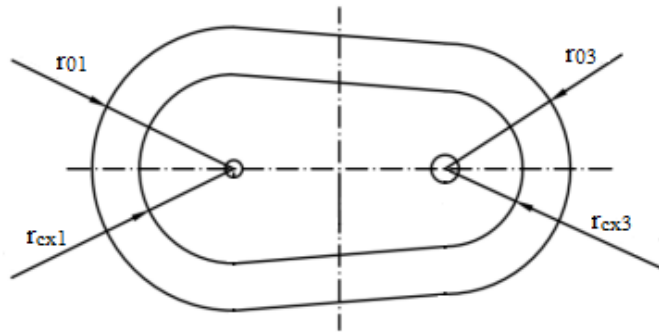
$$L_{C31} = 2,25 * h_3 = 2,25 * 19,83 = 44,617 \text{ м};$$

$$L_{max31} = 4,25 * h_3 = 4,25 * 19,83 = 84,277 \text{ м};$$

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



(а)



(б)

Рисунок 4.2.2 – Схема зон стрижневих блискавковідводів різних висоти
(а – вертикальний переріз; б – горизонтальний переріз на висоті $h_x=5$ м)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.497.ПЗ

Арк.

47

ВИСНОВОК

Були проведені аналіз та модернізація підстанції 110/35/10 кВ. Всі заплановані заходи щодо модернізації були успішно виконані. Після дослідження режиму роботи та обладнання підстанції, були обрані елементи для перевірки та подальшої модернізації. У результаті даної роботи певні об'єкти підстанції, такі як силові трансформатори, вимикачі та грозозахисні стрижні були модернізовані.

Перевірка силових трансформаторів ТДТН – 16000/110 на навантаження показала, що ці трансформатори не розраховані на рівень сучасних навантажень та при аварійному відключенні одного з трансформаторів другий не зможе забезпечити безперебійну подачу електроенергії високої якості до споживачів. Тому було прийнято рішення замінити дані трансформатори на більш потужні ТДТН – 25000/110, котрі зможуть задовольнити енергетичний попит сучасних споживачів енергії та забезпечити нормальний режим роботи підстанції під час аварійного відключення однієї з машин.

Для стабільної роботи комутаційних пристроїв, був досліджений масляний вимикач на стороні 10 кВ. Аналіз даного приладу, показав, що він має низку значних недоліків серед вимикачів різних типів. Цей прилад виявився складним в обслуговуванні, вогнебезпечним та шкідливим для довколишнього середовища вимикачем. Тому його заміна на більш ефективний вакуумний вирішила багато проблем, пов'язаних зі старим приладом комутації. Для вибору нового вимикача попередньо були розраховані параметри струму короткого замикання та був використаний підручник «Електрична частина станцій та підстанцій» написаного Б.Н. Неклепаєвим.

В наступному розділі була модернізована система грозозахисту. Модернізація полягала у розрахунку висоти та зон захисту для подвійних стрижневих блискавковідводів, які відповідали максимально можливому рівню надійності захисту для безпеки обладнання та працівників підстанції.

									Арк.
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

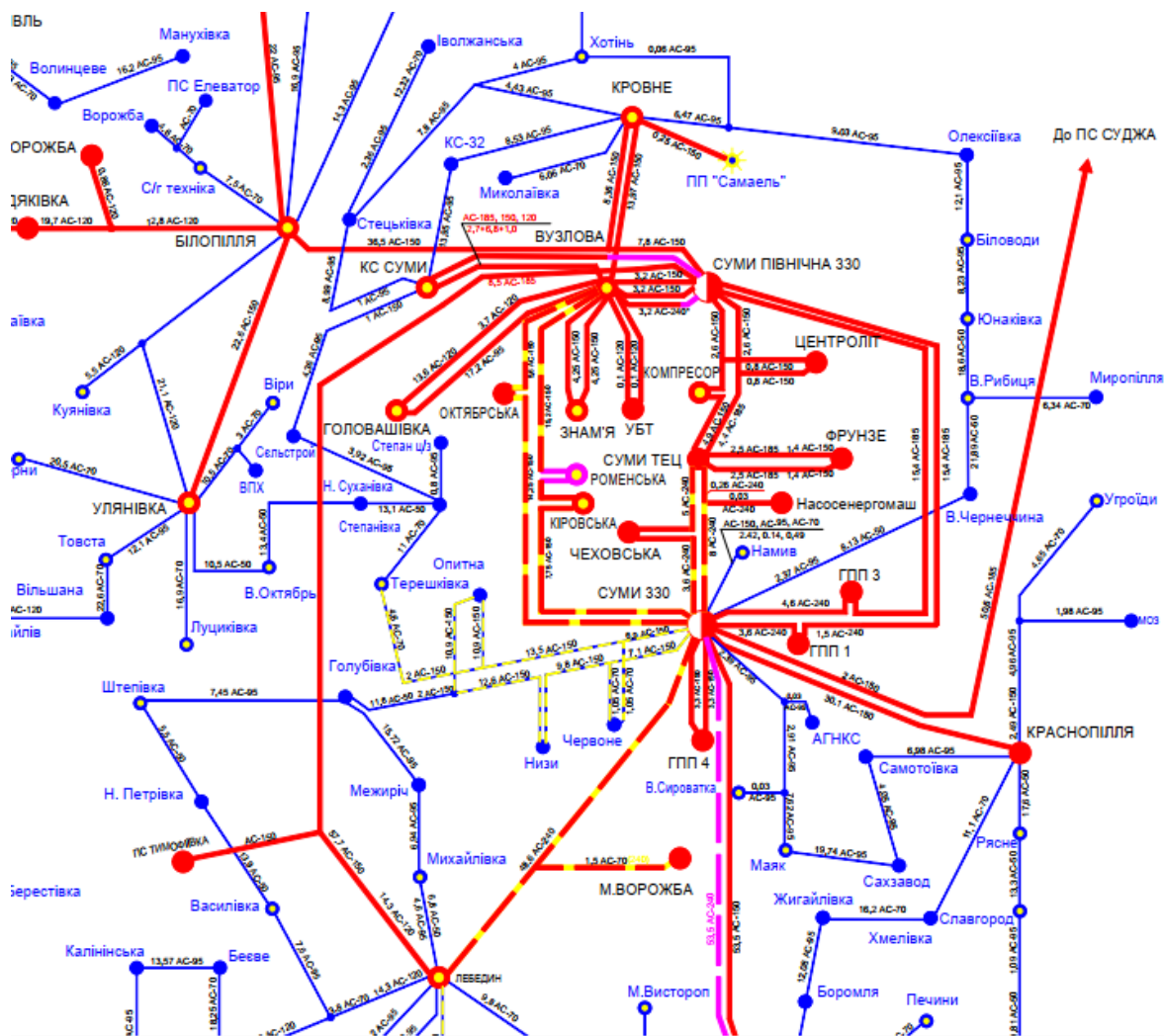
БР 3.6.141.497.ПЗ

В результаті була розрахована за затверджена висота блискавковідводів та визначені зони захисту. Повну схему захисту ВРП – 110 кВ можна бачити на рисунку 4.2.3.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

ДОДАТОК А

(карта-схема існуючих електричних мереж 35-110 кВ в Сумському районі)



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

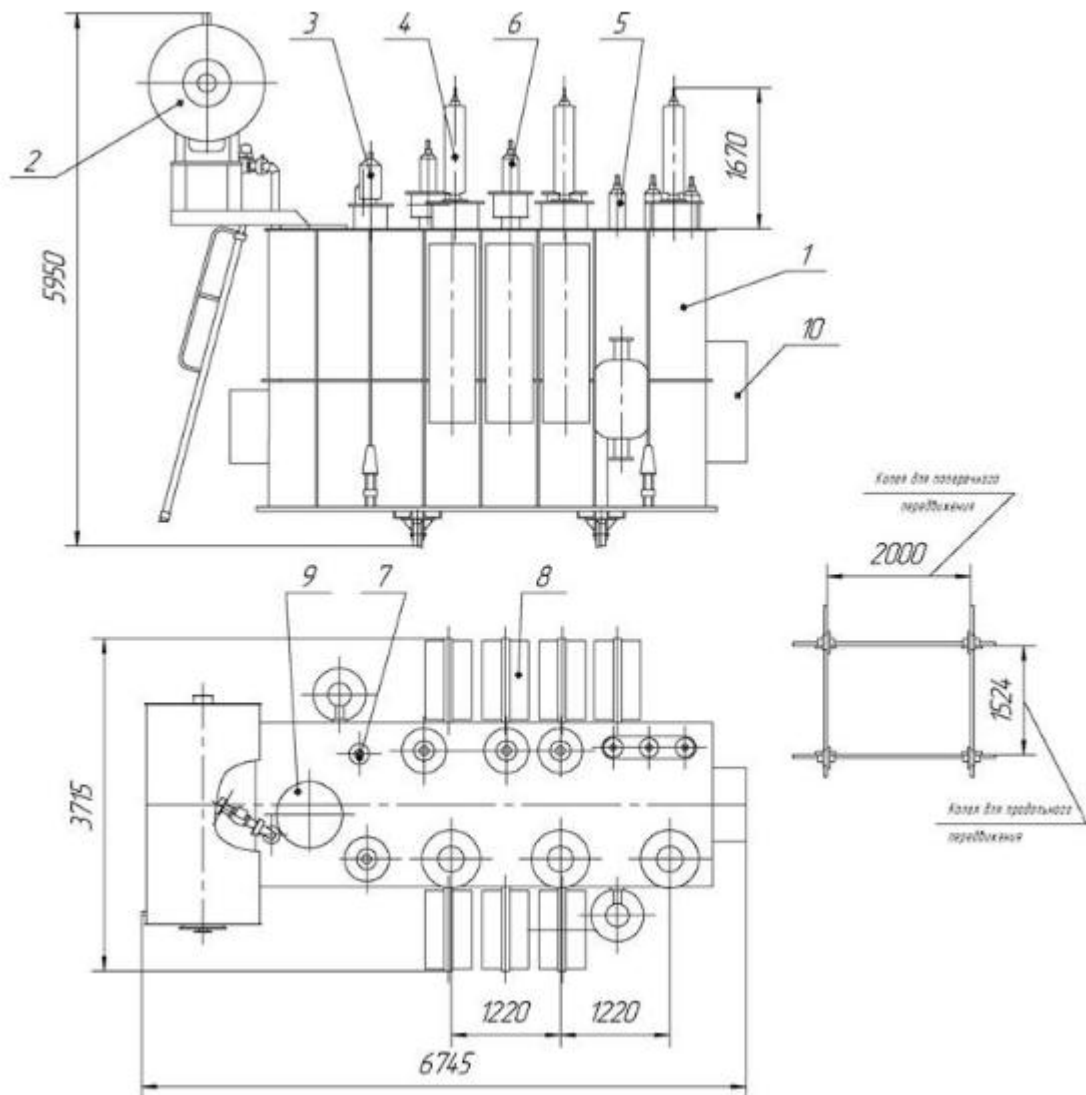
БР 3.6.141.497.ПЗ

Арк.

51

ДОДАТОК Б

(креслення габаритів трансформатору)



- 1 – бак трансформатора;
- 2 – розширювач;
- 3 – ввід 0 на стороні ВН;
- 4 – ввід ВН;
- 5 – ввід НН;
- 6 – ввід СН;
- 7 – ввід 0 на стороні СН;
- 8 – радіатор панельний;
- 9 – пристрій РПН;
- 10 – шафа.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.497.ПЗ

Арк.

52

(реальне зображення трансформатору)



					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ДОДАТОК В

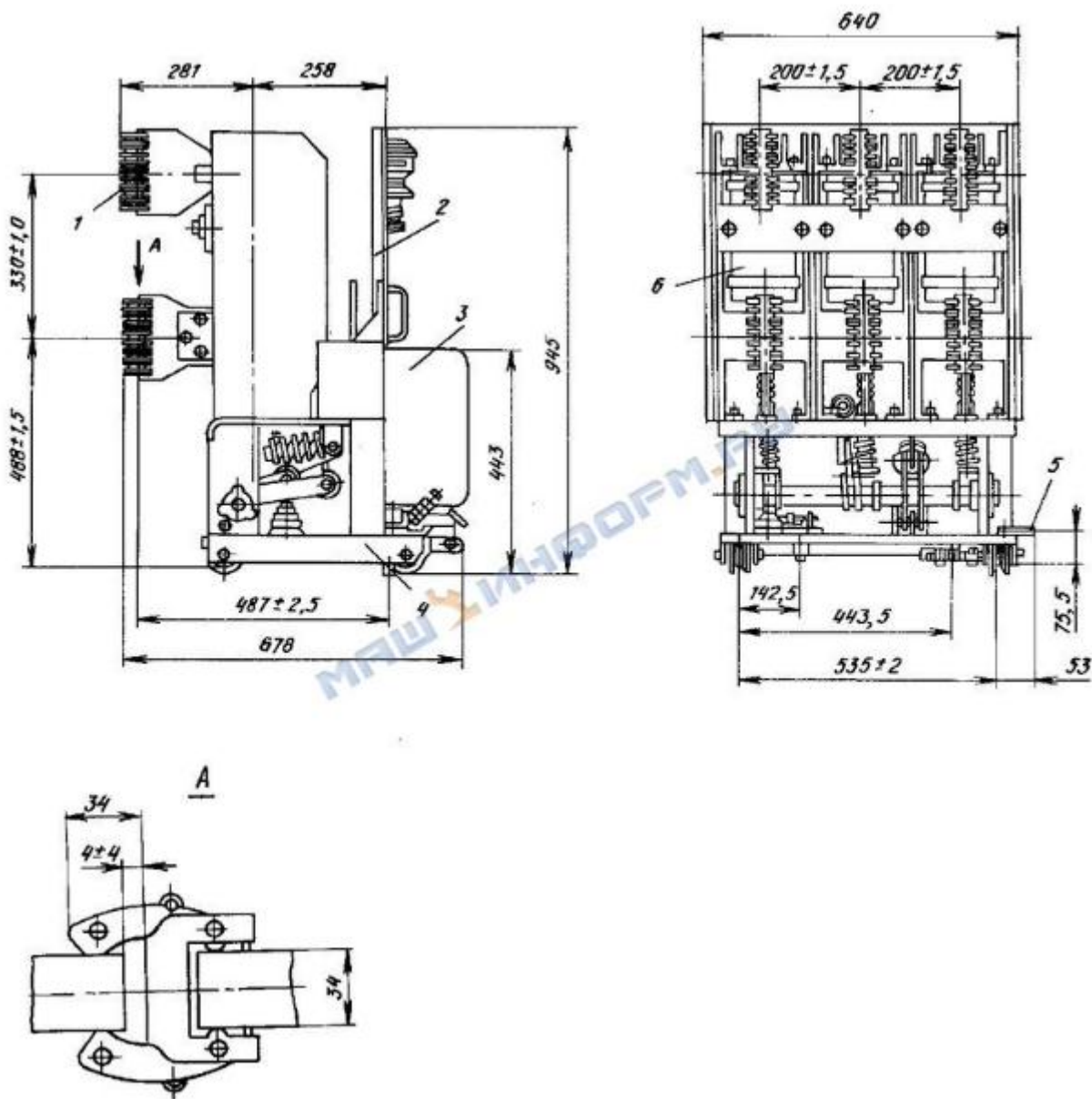
(розрахункові дані опору сталевалюмінієвих проводів на 100 км довжини)

Номинальное сечение провода, мм ²	r ₀ , Ом. при +20 °С	35 кВ	110 кВ			150 кВ		
		x ₀ , Ом	x ₀ , Ом	b ₀ , 10 ⁻⁴ СМ	q ₀ , Мвар	x ₀ , Ом	b ₀ , 10 ⁻⁴ СМ	q ₀ , Мвар
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,40	46	2,46	5,5
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,5	45	2,52	5,7
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	3,55	44,1	2,56	5,8
150/24	19,8	40,6	42	2,7	3,6	43,4	2,61	5,9
185/29	16,2	—	41,3	2,75	3,7	42,9	2,64	5,95
240/32	12	—	40,5	2,81	3,75	42	2,7	6,1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>БР 3.6.141.497.ПЗ</i>															Арк.
																				54

ДОДАТОК Г

(креслення габаритів вимикача ВВЕ – 10 – 31,5/2500)



- 1 – контакт;
- 2 – перегородка;
- 3 – електромагнітний привід;
- 4 – основа;
- 5 – палець;
- 6 – полюс;

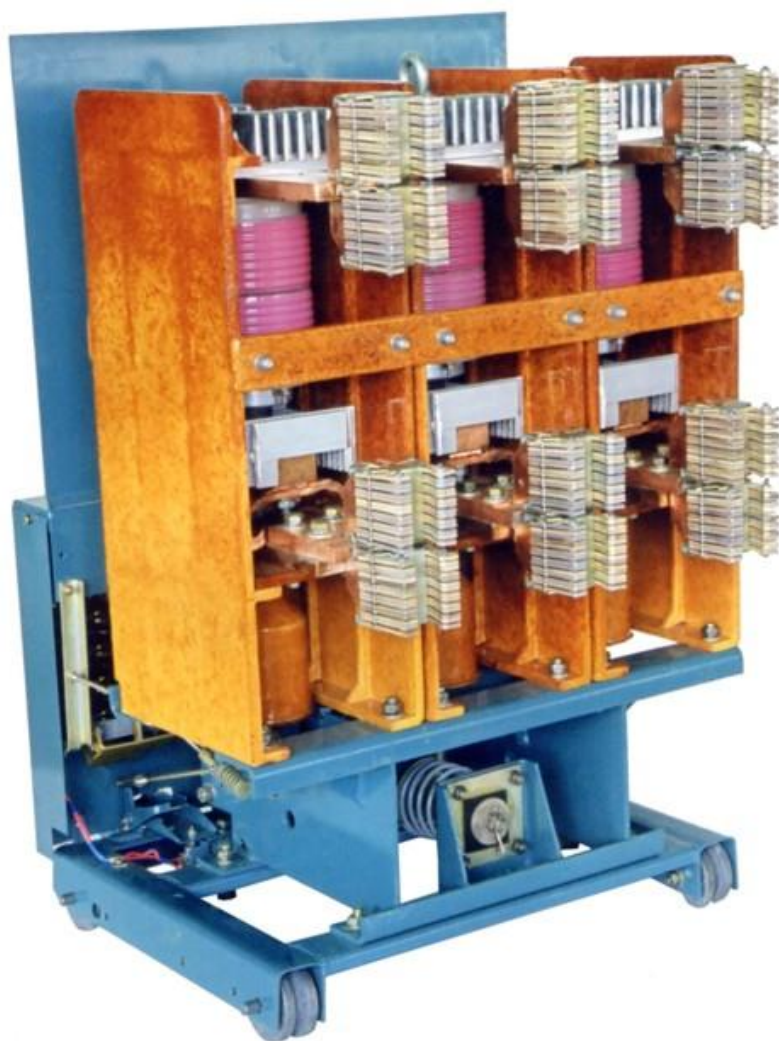
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.497.ПЗ

Арк.

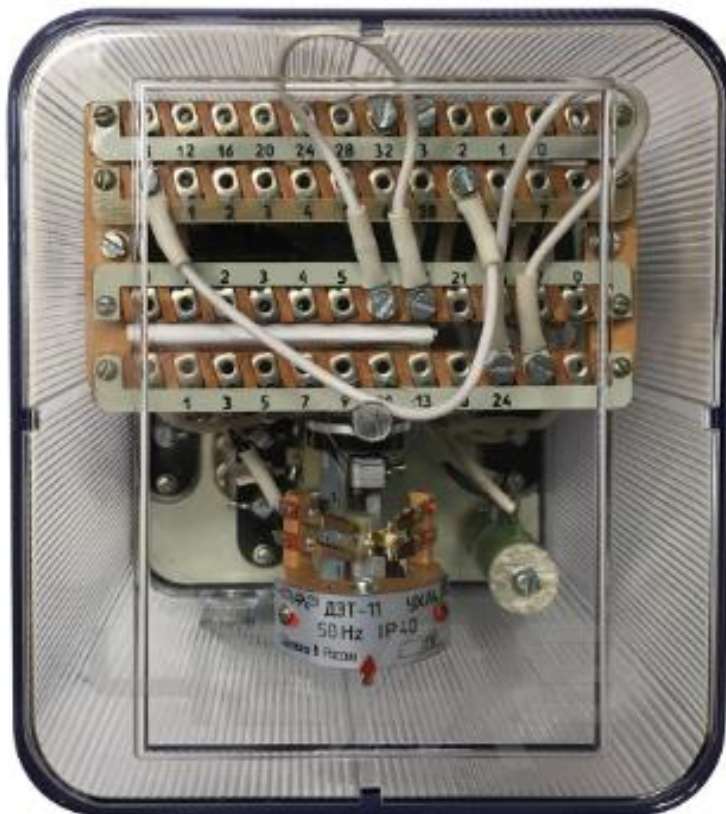
55

(реальне зображення вимикача ВВЕ – 10 – 31,5/2500)



					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ДОДАТОК Г
(диференційне реле струму ДЗТ-11)



					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Методичні вказівки і завдання до виконання курсового проекту на тему «Розроблення проекту районної електричної мережі» з курсу «Електричні системи і мережі» / укладачі: І. Л. Лебединський, М. В. Петровський, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 37 с.
2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с
3. Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – «Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования». Часть 2. 4-е издание. Москва. Энергоатомиздат. 1989г
4. ПУЕ Правила улаштування електроустановок.- Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, із змінами 21.08.2017.
5. Методические указания по выполнению расчетной работы по теме « расчет параметров защиты трансформаторов» по курсу «Релейная защита и автоматика». Сумы 2008. В.С. Ноздренков, В.И. Романовский.
6. Методичні вказівки та завдання до розрахунково-графічної роботи з курсу «Грозозахист і перенапряга у електричних мережах» / укладач М.В. Петровський. – Суми: Сумський державний університет, 2019. - 37 с.
7. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
8. Інформація з сайту «leg.com.ua» «КЗ-110 – Короткозамикач. URL: <https://leg.co.ua/info/razediniteli/kz-110-korotkozamykatel.html>
9. Інформація з сайту «Vol'ten Group» «НАМИ-10-95 трансформатор напруги». URL: <https://voltten.com/nami-10-95-transformator-napryazheniya-izmeritelnyj-maslyanyj-antirezonsnyj/>
- 10.Стаття сайту «Vol'ten Group» «ТОЛ – 35 трансформатор струму». URL: <https://voltten.com/tol-35-transformator-toka-izmeritelnyj-suxoj-opornyj/>

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

БР 3.6.141.497.ПЗ

11. Інформація з сайту «Vol'ten Group» «ЗНОМ – 35 трансформатор струму». URL: <https://voltten.com/znom-35-transformator-napryazheniya-izmeritelnyj-maslyanyj-zazemlyaemyj/>
12. Інформація з сайту «Vol'ten Group» «ТВЛМ - 10 трансформатор струму». URL: <https://voltten.com/tvlm-10-transformator-toka-opornyj-suxoj-vstroennyj/>
13. Кліматичні дані по м.Суми. «Український гідрометеорологічний центр» URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/12/2/
14. Інформація з сайту «leg.com.ua» «КЗ-110 – Короткозамикач. URL: <https://leg.co.ua/info/razediniteli/kz-110-korotkozamykatel.html>
15. Інформація з сайту «Разряд» «Розрядники РВС-110, РВС-150, РВС-220 кВ». URL: <http://www.razrad.ru/cat/razryadniki-rvs110-rvs150-rvs220/>
16. Інформація з документу «ДСТУ-3463-96». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012414>
17. Інформація з документу «ГОСТ 14209-85». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012414>
18. Інформація з сайту leg.co.ua «Вимикачі ВМП-10К». URL: <https://leg.co.ua/info/vyklyuchateli/vyklyuchateli-vmp-10k.html>
19. Інформація з офіційного сайту «ПАТ Сумиобленерго» URL: <https://www.soe.com.ua/about-comp/development-plan-ocp>
20. Інформація з сайту «forca.ru» «Роз'єднувачі зовнішнього встановлення» URL: <https://forca.ru/spravka/razediniteli-i-otdeliteli/razediniteli-naruzhnoy-ustanovki-parametry.html>
21. Інформація з сайту «mirkon.net» «Спіральний загороджувач ЗВС – 100» URL: <https://mirkon.net/p1459580-zagraditel-spiralnyj-zvs.html>
22. Конспект лекцій з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій» автора Дяговченко І. М.

					БР 3.6.141.497.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		