

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до дипломного проекту
ступінь вищої освіти бакалавр**

галузі знань 14 Електрична інженерія

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему Вибір високовольтного обладнання понижувальної підстанції

Виконав: студент групи ЕЕ-19за

Аргатова О. П.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Керівник від СНУ ім. В.Даля

доц. Філімоненко К.В.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

доц. Руднєв Є.С.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Київ, 2023 р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

(шифр і назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ

доц. Руднєв .С.С

“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Аргатовій Оксані Петрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Вибір високовольтного обладнання понижувальної підстанції

керівник проекту к. т. н, доц. Філімоненко К.В.,

затверджені наказом вищого навчального закладу №267/15.23-С від

16.05.2023р.

2. Строк подання студентом проекту 10 червня 2023р.

3. Вихідні дані до проекту Схема головної понижуючої підстанції «Західна».
Технічні, технологічні та конструктивні дані. Вимоги до переобладнання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Характеристика підстанції «Західна», що існує, та задачі модернізації. Оцінка стану високовольтного обладнання ГПП «Західна». Заміна силового трансформатора 35 кВ. Вимірювальні трансформатори. Заходи з охорони праці.

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

Презентація бакалаврського проекту, оригінальна схема електропостачання ГПП «ЗАХІДНА», схема електропостачання ГПП «ЗАХІДНА» після

РЕФЕРАТ

Дипломна робота бакалавра на тему "Розрахунок високовольтного обладнання головної понижуючої підстанції .

Робота містить 73 сторінок, 22 джерел літературних посилань, 15 таблиць, 1брисунків.

Робота присвячена розрахунку високовольтного обладнання підстанції (ПС) та модернізації ПС 35/6 задля підвищення надійності електропостачання. Розв'язані питання, що поставлені завданням на бакалаврську роботу.

Визначено розрахункове електричне навантаження, кількості трансформаторів та їх потужності, а також системи електропостачання підстанції, обрано обладнання підстанції.

Виконано розрахунки струмів короткого замикання, а також захисту струмопровідних шин 35 кВ та захисту від грозових перенапруг.

Робота може слугувати основою для робочого проекту розрахунку високовольтного обладнання та модернізації підстанції.

ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, УСТАЛЕНИЙ РЕЖИМ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ПРЯМА ПОСЛІДОВНІСТЬ ФАЗ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ПОВІТРЯНА ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР, СТРУМОПРОВІДНА ШИНА

					РБ.141.19за.002 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Аргатова				Вибір високовольтного обладнання понижувальної підстанції	Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Філімоненко						5	
Реценз.						СНУ ім. Даля, каф. ЕІ		
Н. Контр.								
Затверд.	Рвднєв							

ABSTRACT

The Paper is devoted by calculation of equipment for High-Voltage Transformer Substation and modernization of the Substation "Zakhidna 35/6" for the sake of increasing the reliability of Electricity Supply. The set of task for the Bachelor Thesis are solved.

The Electrical Load, the number of Transformers and their power are calculated as well as the power Supply System of the Transformer Substation are determined. The Substation equipment is appointed.

Calculation of Short-Circuit Currents and protection of 35 kV Conductive Busbars and protection against Lightning Surges were provided.

The Paper could be served as a basis for a Working Project for the calculation of High-voltage Equipment and modernization of the Transformer Substation.

TRANSFORMER SUBSTATION, STEADY STATE, HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT, CONDUCTIVE BUSBAR, DIRECT SEQUENCE OF PHASES, RELAY PROTECTION, OVERHEAD POWER LINE, POWER TRANSFORMER

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		5

ЗМІСТ

		Стор.
	ВСТУП.....	7
1	ХАКТЕРИСТИКА ПІДСТАНЦІЇ ЩО ІСНУЄ, ТА ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ	8
1.1	Характеристика підстанції.....	8
1.2	Оцінка стану високовольтного обладнання ГПП «Західна».....	11
2	ЗАМІНА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 35 КВ.....	12
2.1	Особливості конструкції трансформаторів.....	12
2.2	Вибір трансформатора.....	15
3	ОБРАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	20
3.1	Високовольтні вимикачі.....	20
3.2	Вимірювальні трансформатори.....	25
3.3	Високовольтні роз'єднувачі.....	30
4	ОБЛАДНАННЯ НА СТОРОНІ 6 КВ.....	32
4.1	Заміна вимірювальних трансформаторів.....	32
4.2	Вакуумні відмикачі.....	35
4.3	Трансформатор власних потреб.....	36
5	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	39
5.1	Розрахунок струмів короткого замикання у відносних одиницях... ..	41
5.2	Визначення ударних струмів трифазного короткого замикання.....	44
5.3	Визначення теплового імпульсу.....	48
5.5	Заходи і засоби обмеження струмів короткого замикання.....	49
6	ПЕРЕВІРКА ВИСОКОВОЛЬТНОГО УСТАТКУВАННЯ ПІДСТАНЦІЇ.....	51
6.1	Перевірка устаткування 35 кВ.....	51
6.2	Перевірка устаткування на стороні 6 кВ.....	55
6.3	Живлення власних потреб (ВП) підстанції.....	56
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ.....	59
7.1	Небезпечні фактори в електромережах.....	59
7.2	Охорона праці.....	62
7.3	Пожежна безпека.....	65
	ВИСНОВКИ.....	69
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	71

ВСТУП

Електричні системи є важливішою частиною інфраструктури національної економіки держави, яка забезпечує її енергетичні потреби. Ефективність функціонування основної частини електричної системи – електричної мережі – визначається вимогами безперебійності роботи споживачів електроенергії, тобто надійністю електропостачання.

Показники оцінки стану розподільних електричних мереж України є не дуже втішними [1,2,3]:

- понад 6,6% (6 тис.км) ліній електропередач напругою 35-110 (150) кВ та 11,5% (20,7 тис.км) ліній електропередач напругою 0,4 - 10(6) кВ прийшли в технічно непрацездатний стан і потребують значних щорічних зростаючих витрат на технічне обслуговування та ремонт;
- фактично технологічні витрати електричної енергії в електричних мережах в середньому складають 12,1%, а в мережах окремих компаній — 18%;
- близько 22,3% (1,0 тис.од.) трансформаторних підстанцій напругою 35-110 (150) кВ і 14,9% (26,3 тис.од.) ТП 10(6) кВ підлягають реконструкції та заміні, трансформатори, встановлені на них відпрацювали передбачений технічною документацією термін експлуатації, мають значні втрати, недостатню надійність та потребують заміни.

Ці недоліки рівною мірою стосуються різноманітних апаратів для комутації електроенергії та засобів релейного захисту й автоматики.

На підставі рівня втрат електроенергії можна зробити висновки про необхідність і обсязі впровадження енергозберігаючих заходів які передбачені СОУ НЕК 20.261:2018 [2,3].

До заходів щодо зниження втрат є практичні дії, що призводять до реального зниження втрат.

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

Виходячи з особливостей отримання ефекту даних заходів, можуть бути розділені на наступні чотири групи:

- заходи щодо поліпшення режимів роботи електричних мереж;
- заходи щодо реконструкції електричних мереж, що здійснюються з метою зниження втрат;
- заходи щодо вдосконалення системи обліку електроенергії;
- заходи щодо зниження розкрадань електроенергії.

До заходів з реконструкції електричних мереж можна віднести оновлення трансформаторів, комутаційної апаратури.

Актуальність роботи. Спираючись на вищезазначене, визначаємо, що актуальність роботи визначається необхідністю підвищення надійності електропостачання шляхом оновлення трансформаторів та комутаційної апаратури.

Об'єктом дослідження є процес підвищення якості постачання електричною енергією споживачів 1 категорії.

Предметом дослідження є силові трансформатори та комутаційне обладнання.

Мета дослідження – підвищення надійності системи електропостачання промислового району шляхом заміни застарілого обладнання підстанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати розрахунок струмів короткого замикання;
2. Вибрати нове силове обладнання розподільних пристроїв підстанції

Методи дослідження: метод вузлових напруг, метод розрахунку усталених режимів електричної мережі, метод симетричних складових при розрахунку коротких замикань із застосуванням схем прямої послідовності.

РОЗДІЛ 1

ХАКТЕРИСТИКА ПІДСТАНЦІ ЩО ІСНУЄ, ТА ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ

1.1 Характеристика підстанції

Підприємство хімічної промисловості було збудоване та введене в експлуатацію в 1917 році. Ще з самого початку свого існування завод носить статус містоутворюючого. На наш час на підприємстві працює приблизно 2000 осіб. Допоміжні приміщення та виробничі потужності займають 154,794 га території.

Головна понижуюча підстанція, знаходиться на території підприємства хімічної промисловості, яке відноситься до I категорії електропостачання: від неї живляться споживачі, перерва в електропостачанні яких може призвести до нещасних випадків, великих аварій, нанесення великої матеріальної шкоди через вихід з ладу цілих комплексів обладнання, взаємопов'язаних систем.

Споживачі даної категорії повинні житися від двох незалежних джерел живлення – двох ліній електропередач, що живляться від окремих силових трансформаторів.

Живлення підстанції відбувається двома одноланцюговими повітряними лініями 35 кВ та одною резервною ЛЕП-35 кВ. Має системи шин на високій стороні 35 кВ і на низькій 6 кВ.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		9

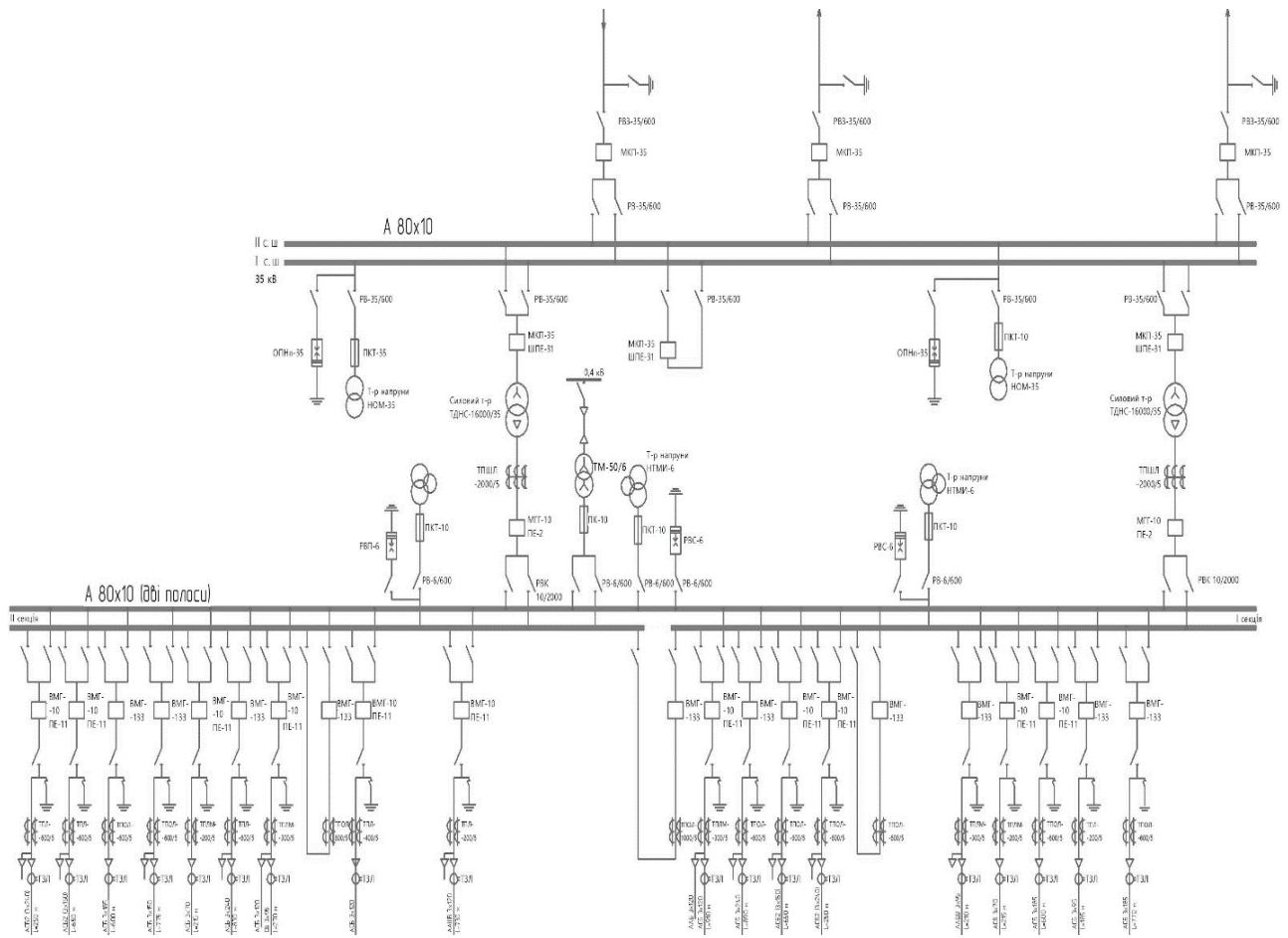


Рисунок 1.1. – Схема головна понижуюча підстанція

При ознайомленні з ГПП було виконано технічне оцінювання наявного електричного обладнання та його стан. З цього можна зробити наступний висновок – загалом на ГПП обладнання використовується досить зношене, є таке, що вироблене в 1954 році. Трансформатори вже відпрацювали свій робочий ресурс більше ніж у два рази.

Ізм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата

На ГПП використовуються високовольтні оливні вимикачі, які є застарілими та менш надійними, швидкість відключення у них більша, ніж у сучасних вимикачів вакуумного типу.

Обладнання в основному відпрацювало свій робочий ресурс, а конструкція деякого не є сучасним та ефективним, тому більшість обладнання потребує заміни на сучасні аналоги.

Задачею модернізації є заміна застарілого високовольтного обладнання підстанції 35 кВ, а саме:

- оновлення силового трансформатора;
- заміна трансформаторів напруги і струму;
- оновлення трансформатора власних потреб;
- заміна роз'єднувачів внутрішньої установки;
- заміна масляних вимикачів.

До завдання бакалаврської роботи входять також деякі розрахунки обладнання.

1.2 Оцінка стану високовольтного обладнання ГПП

Ознайомлення й аналіз обладнання, що встановлене на підстанції, приводить до підсумування, що силові трансформатори ТДНС-16000 35/6 встановлені у 1954 році, масляні вимикачі на стороні 35 і 6 кВ також встановлені 1954. Треба відзначити, що протягом цього часу відбулась часткова заміна: трансформаторів струму, напруги, розрядників і деякого іншого обладнання.

Замінювати схему електропостачання головної понижуючої підстанції не є можливим. Але є можливість провести часткову заміну застарілого обладнання.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		11

РОЗДІЛ 2

ЗАМІНА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 35 КВ

2.1 Особливості конструкції трансформаторів

Силкові трансформатори поділяються:

- за умовами роботи – на трансформатори, призначені для роботи в нормальних умовах, і на трансформатори, призначені для роботи в спеціальних умовах;
- за видом ізолюючого та охолоджуючого середовища – на масляні та сухі трансформатори;
- за типами, що характеризують призначення та особливості конструкції, - однофазні або трифазні, РПН, перемикачі без збудження (далі – ПБЗ) і тощо[4-8].

У масляних трансформаторах основний ізолюючої і охолоджуючої середовищем є трансформаторне масло.

Він складається з магнітопровода, обмоток, бака, кришки з вводами. Магнітопровід збирають з ізольованих один від одного (для зменшення втрат на вихрові струми) листів холоднокатаної електротехнічної сталі. Обмотки виготовляють з мідного або алюмінієвого проводу.

Для регулювання напруги обмотка ВН має відгалуження, що з'єднуються з перемикачем. У трансформаторах передбачено два види перемикачів відгалужень: під навантаженням - РПН (регулювання під навантаженням) і без навантаження, після відключення трансформатора від мережі - ПБВ (перемикач без збудження).

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		12

Системи охолодження силових трансформаторів.

Природне масляне охолодження (М) виконується для трансформаторів потужністю до 16000 кВ·А включно. Теплота, виділена в обмотках і магнітопроводі, передається навколишнього масла, яке, циркулюючи по баку і радіаторним трубах (охолоджуюча поверхню), передає його навколишньому повітрю.

Масляне охолодження з дуттям і природною циркуляцією масла (Д) застосовується для трансформаторів потужністю понад 16000 кВ·А. У цьому випадку в навісних охолоджувачах з радіаторних труб поміщаються вентилятори, вентилятор засмоктує повітря знизу і обдуває нагріту верхню частину труб. Пуск і зупинка вентиляторів можуть здійснюватися автоматично в залежності від навантаження і температури нагріву масла.

Масляне охолодження з дуттям і примусовою циркуляцією масла через повітряні охолоджувачі (ДЦ) застосовується для трансформаторів потужністю 63000 кВ·А і більше.

Охолоджувачі складаються з системи тонких ребристих трубок, обдуваються зовні вентилятором. Електронасоси, вбудовані в мастилопроводи, створюють безперервну примусову циркуляцію масла через охолоджувачі. Завдяки великій швидкості циркуляції масла, розвиненою поверхні охолодження і інтенсивному дуттю охолоджувачі мають велику тепловіддачу і компактність. Перехід до такої системи охолодження дозволяє значно зменшити габарити трансформаторів.

Охолоджувачі можуть встановлюватися разом з трансформатором на одному фундаменті або на окремих фундаментах поруч з баком трансформатора.

У трансформаторах з направленим потоком масла (НДЦ) інтенсивність охолодження підвищується, що дозволяє збільшити допустимі температури обмоток.

Олійно-водяне охолодження з примусовою циркуляцією масла (Ц) принципово влаштовано так само, як система ДЦ, але на відміну від останнього охолоджувачі складаються з трубок, по яких циркулює вода, а між трубками рухається масло.

Олійно-водяне охолодження з направленим потоком масла (НЦ) застосовується для трансформаторів потужністю 630 МВ · А і більше.

На трансформаторах з системами охолодження ДЦ і Ц пристрої примусової циркуляції масла повинні автоматично вмикатися одночасно з включенням трансформатора і працювати безперервно незалежно від навантаження трансформаторів. У той же час число включаються в роботу охолоджувачів визначається навантаженням трансформатора. Такі трансформатори повинні мати сигналізацію про припинення циркуляції масла, охолоджувальної води або про зупинці вентилятора.

Природне повітряне охолодження трансформаторів здійснюється шляхом природної конвекції повітря і частково - променевипускання в повітрі. Такі трансформатори отримали назву сухих. Умовно прийнято позначати природне повітряне охолодження при відкритому виконанні С, при захищеному виконанні СЗ, при герметизированном виконанні СГ, з примусовою циркуляцією повітря СД.

Сухий трансформатор, так само як і масляний, складається з магнітопровода, обмоток ВН і НН, укладених в захисний кожух. Основним ізолюючим і охолоджуючим середовищем є атмосферне повітря. Однак повітря є менш досконалим ізолюючим і охолоджуючим середовищем, ніж трансформаторне масло. Тому в сухих трансформаторах всі ізоляційні проміжки і вентиляційні канали роблять більшими, ніж у масляних.

Сухі трансформатори виготовляють з обмотками зі склоізоляцією класу нагрівостійкості В (ТСЗ), а також з ізоляцією на кремнійорганічних лаках класу Н (ТСЗК). Для зменшення гігроскопічності обмотки покривають спеціальними лаками. Застосування в якості ізоляції обмоток зі скловолокна

										Лист
										14
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата	РБ.141.19за.002 ПЗ					

або азбесту дозволяє значно підвищити робочу температуру обмоток й отримати практично пожежобезпечну установку. Це властивість сухих трансформаторів яка дає можливість застосовувати їх для встановлення всередині сухих приміщень у тих випадках, для забезпечення пожежної безпеки стають вирішальним чинником.

2.2 Вибір трансформатора

Ознайомившись з параметрами масляного трансформатора ТДНС потужністю 16000 кВА та напругою 35/6 кВ, встановленого на підприємстві, була зроблена спроба знайти заміну на українському та інших ринках, але як з'ясувалось, відповідного трансформатора із масляним охолодженням, номінальною потужністю та напругою таких величин досить складно знайти. Було розглянуто два типи трансформаторів, які підходять для заміни спираючись на існуючі параметри:

- сухий трансформатор TS-16000 35/6;
- масляний трансформатор ТДНС-16000 35/6.

2.2.1 Сухий трансформатор італійської компанії «Італ-Техно» TS-16000 кВА [10] виробляє італійський завод TESAR SRL. Технічні характеристики трансформатора приведені у таблиці 2.1 для ознайомлення. Ця компанія досить тісно працює з українським споживачем та має офіс на території України, який розташований у місті Київ. Зовнішній вигляд трансформатора TS-16000 приведено на рисунку 2.1.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		15



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд трансформатора TS-1600

Таблиця 2.1– Технічні параметри трансформатора TS-1600

Потужність трансформатора, кВА	16000
Напряження, кВ	до 36
Діапазон регулювання	+5%, +2,5%, 0%, -2,5%, -5%
Схема з'єднання обмоток	Yn/D11
Втрати х.х., P ₀ (Вт)	26000
Втрати к.з. при 75°C,	55000
Напруга к.з., (%)	9
Струм холостого ходу, I ₀ (%)	0,5
Висота установки	До 1000 м над рівнем моря
Вага, кг	32000
Габарити трансформатора, мм:	
А (довжина)	3900
В (ширина)	2000
С (висота)	3750
D (відстань між виводами НН)	За запитом
P (відстань між колесами)	1250

Сухих трансформатори TESAR відповідають стандарту ІЕС (МЕК) 60076-11

Трансформатор сухий має досить значні переваги над масляним, але, не дивлячись на це, для його використання ПС потребує суттєвої перебудови, на що потрібен час та фінанси.

2.2.2 Трифазні силові масляні трансформатори з дуттям ТД, ТДН(С), ТРДН(С) (далі потексту "трансформатори") призначені для перетворення електричної енергії в мережах енергосистем, а також для живлення різних споживачів в мережах змінного струму частотою 50 Гц, в т. ч. для власних потреб електростанцій випускаються ТОВ "ЕЛІЗ", Україна [10].

Трифазні силові масляні трансформатори з дуттям ТДНС (далі потексту "трансформатори") призначені для перетворення електричної енергії в мережах енергосистем, а також для живлення різних споживачів в мережах змінного струму частотою 50 Гц, в т.ч. для власних потреб електростанцій.

Трансформатори придатні для внутрішньої та зовнішньої установки та для роботи в наступних умовах:

- висота над рівнем моря до 1000 м;
- в районах з помірним й холодним кліматом У1 УХЛ1;
- робочий діапазон температур від -60 ° С до +40 ° С.

Трансформатори не придатні для роботи в наступних умовах:

- у вибухонебезпечному й агресивному середовищі (що містить газу, випаровування, пил підвищеної концентрації і ін.);
- при вібрації й тряски;
- при частих включеннях з боку живлення.

У трансформаторах передбачена можливість регулювання напруги. Від регулювання - РПН (регулювання під навантаженням), тобто перемикання трансформатора на інший щабель регулювання здійснюється в робочому стані.

Трансформатори комплектуються:

- системою охолодження з дуттям;
- мастиловказівника, для контролю рівня масла в баку;
- мастиловказівника, для контролю рівня масла в відсіку РПН;

- датчиком температури трансформатора (для трансформаторів, потужністю 1000 кВА та більше);
- датчиком температури пристрою РПН;
- газове реле трансформатора, для візуального контролю виділівшегося газу, а також для відбору проби масла (для трансформаторів, потужністю 1600 кВА та більше);
- газовим реле для пристрою РПН;
- пристроєм, для переключення в поздовжньому і поперечному напрямку (для трансформаторів, потужністю 1000 кВА та більше).

Трансформатори складаються з активної частини, кришки і зварного прямокутного бака. На кришці розташовані вводи ВН та НН, розширювач з мастиловказівника.

Активна частина складається з магнітопровода з обмотками, нижніх і верхніх ярмових балок, перемикача РПН. Магнітна система трансформатора стрижневого типу, збирається з холоднокатаної електротехнічної сталі.

Конструкція обмоток трансформатора - циліндрична, катушечная, гвинтова, в залежності від потужності і напруги трансформатора. Над активною частиною встановлений перемикач, до нерухомих контактів якого приєднані регульовальні відводи обмоток ВН. Трансформатори відповідають ДСТУ 2105-92[11].

Отже, спираючись на обставини, було прийнято рішення рекомендувати для встановлення новий трансформатор ТДНС-16000 35/6 у сучасному виконанні.

Трансформатор ТДНС-16000 35/6 силовий, трифазний, двообмотковий, з природною циркуляцією масла та примусовою циркуляцією повітря, із регулюванням напруги під навантаженням (РПН), з діапазоном регулювання $\pm 8 \times 1,5\%$ з боку ВН. Автоматичне управління здійснюється від автоматичного контролера, що поставляється разом із трансформатором. Призначений для роботи в електричних мережах власних потреб електростанції. Застосування трансформатора типу ТДНС дозволяє

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		18

забезпечити споживачеві надійне електропостачання протягом усього терміну експлуатації. Параметри трансформатора наведені в табл. 2.2, а загальний вигляд на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд силового трансформатора ТДНС-16000 МВА

Таблиця 2.2. – Параметри трансформатора силового ТДНС-16000 35/6

Номінальна потужність, $S_{нтр}$, МВА	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднання обмоток	Втрати, кВт		Напруга короткого замикання, %	Струм Х.Х., %
	ВН	НН		Х.Х.	К.З.		
16	36,75	6,3	Ун/Д-11	13	85	10	0,3

РОЗДІЛ 3

ОБРАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Для аварійного відключення на ГПП «Західна» використовуються високовольтні масляні відмикачі МКП-35, які є застарілими не дуже надійними, швидкість відключення у них більша ніж у сучасних вимикачів.

3.1 Високовольтні відмикачі

Відмикачі середніх напруг, як і інші електромеханічні комутаційні апарати, розрізняють відповідно до середовища, де їх контакти розмикаються та замикаються. Існують, зокрема, вакуумні, масляні, елегазові та повітряні відмикачі, причому перші три різновиди застосовуються в мережах змінного струму, а повітряні відмикачі, які раніше застосовувалися в мережах змінного та постійного струму, зараз застосовуються лише в мережах постійного струму.

Застосування того чи іншого дугогасного середовища визначається електрофізичними властивостями, а також технологічними й експлуатаційними чинниками.

Вакуум є найефективнішим середовищем з точки зору мінімуму енергії, яка виділяється у дузі при її гасінні. Відтак вакуумні комутаційні модулі або переривники мають найменші розміри. Вакуумні відмикачі виявляються найбільш невибагливими в експлуатації. Все це зумовило перерозподіл ринку відмикачів середньої напруги на користь вакуумних відмикачів.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		20

Проаналізуємо властивості основних типів відмикачів.

Масляні відмикачі. Був великий відрізок часу, починаючи з 30-х років аж до кінця минулого століття, коли масляні (точніше кажучи, маломасляні) відмикачі домінували у відповідному сегменті ринку. Зараз маломасляні відмикачі практично витіснені з ринку, але величезна їх кількість в усьому світі й зараз працює на підстанціях, вичерпуючи свій ресурс. Після виходу з ладу такі відмикачі замінюють на вакуумні й елегазові (програма ретрофіт).

Маломасляні відмикачі забезпечують ефективне гасіння дуги завдяки інтенсивному поперечному (відносно дуги) руху масла під дією сил, що виникають за рахунок енергії, яка виділяється у самій електричній дузі. Численні недоліки (вибухонебезпечність, низька швидкодія, великі габарити, складний, громіздкий та енергоємний пружинно-моторний привід, низький комутаційний ресурс (як правило, після семи автоматичних відключень струмів короткого замикання необхідно виконувати капітальний ремонт комутаційного апарату. Це обумовлено в першу чергу тим, що дугогасне середовище – трансформаторне масло підлягає заміні, так як воно втрачає свої ізоляційні і дугогасні властивості), необхідність проведення профілактичних ремонтів тощо) зумовили зняття з виробництва цих апаратів, у тому числі, на підприємствах України, де вони раніше виготовлялися.

Елегазові відмикачі. Шестифториста сірка SF₆ або елегаз (електричний газ) – це хімічна сполука, яка при температурі вище -50°C перебуває у газоподібному стані і має велику електричну міцність (при атмосферному тиску приблизно у 2,5 разів більшу, ніж у повітря, і у 10 разів більшу, ніж у повітря при тиску 5 атм.). Елегаз є значно кращим охолоджувальним середовищем для нагрітих тіл, ніж повітря, а також має унікальні дугогасні властивості, особливо при підвищеному тиску, зазвичай забезпечуючи гасіння дуги при першому ж переході струму через нуль без ефекту зрізу струму, а відтак не створюючи при цьому небезпечних комутаційних перенапруг.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
						21
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

В елегазових відмикачах застосовуються окремі головні (зазвичай, ковзні) та дугогасні (ковзні або стикові) контакти. Головні контакти розмикаються раніше ніж дугогасні, тому дуга встановлюється тільки на дугогасних контактах. Гасіння дуги забезпечується або за рахунок підвищення тиску в зоні горіння дуги (в автокомпресійних комутаційних модулях), або за рахунок швидкого обертання дуги на кільцевих електродах завдяки магнітному дуттю (в комутаційних модулях з магнітним дуттям).

Елегазовий вимикач має досить складну конструкцію, але проведення періодичних технічних обслуговувань не викликає труднощів, обсяг роботи не перевищує обсяг робіт із вакуумним вимикачем. При зниженні тиску елегазу, необхідно зробити його докачування.

Вакуумні відмикачі. Вакуумні відмикачі з'явилися на ринку електротехнічної продукції наприкінці сімдесятих років минулого століття. З подоланням недоліків комутації у вакуумі, які виявилися ще на стадії початкових досліджень, а саме: явище зрізу струму й пов'язані з ним перенапруги, повторні запалювання дуги після переходу струму через нуль, приварювання контактів при проходженні наскрізних струмів, завдяки винайденим адекватним матеріалам для контактів та технічним рішенням щодо конструкцій вакуумних реривників, обсяг виробництва вакуумних відмикачів почав стрімко зростати. Зараз в сегменті відмикачів середніх напруг вакуумні відмикачі охоплюють приблизно 80% цього ринку і ця частка має тенденцію до зростання.

Основою вакуумного відмикача є вакуумний переривник. Зауважимо, що сучасні вакуумні переривники успішно відмикають струми коротких замикань з очікуваними струмами до 50 кА й забезпечують гасіння електричної дуги при першому ж переході струму через нуль.

Вакуумні відмикачі випускаються як з пружинно-моторними, так і з електромагнітними актуаторами різних конструкцій.

Вакуумні переривники провідних виробників забезпечують дуже високу електричну зносостійкість – до 30000 операцій СО (операція

замикання) з номінальним нормальним струмом й до 100 операцій СО з номінальним струмом відмикання при коротких замиканнях. Завдяки дуже простій кінематиці вакуумні відмикачі з електромагнітними актуаторами мають високу механічну зносостійкість – до 100000 операцій СО без струму.

Вакуумні відмикачі виявляються найбільш невибагливими в експлуатації. Все це зумовило перерозподіл ринку відмикачів середньої напруги на користь вакуумних відмикачів (рис.)

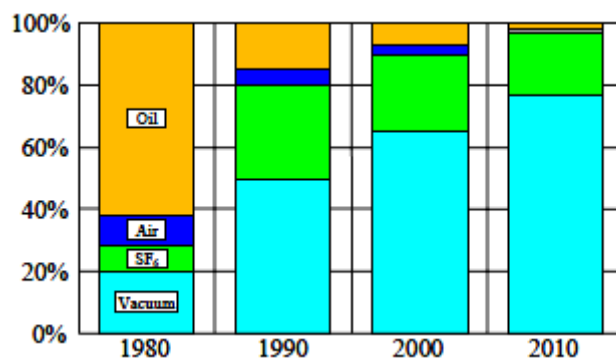


Рисунок 3.1 – Динаміка ринку відмикачів середньої напруги

Для реконструкції підстанції обираємо вакуумний відмикач зовнішнього встановлення ВР35НС.

Вакуумні відмикачі, призначені для зовнішнього встановлення (outdoor), з номінальною напругою 35 кВ зазвичай мають стовпчикову конструкцію (pillar type circuit-breaker) й дещо більші розміри внаслідок необхідності збільшення зазорів (clearance) та відстаней витоку (creepage distance) у апаратів, які мають працювати на відкритому повітрі в умовах дощу, снігу, пилу тощо. Такі відмикачі також виробляються вітчизняними підприємствами (Рівненським заводом високовольтної апаратури).

Вакуумні відмикачі серій ВР35НС і ВР35НСМ призначені для комутації електричних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частотою 50(60) Гц з номінальною напругою 35 кВ для систем з ізольованою чи частково заземленою нейтраллю. Відмикачі виготовляються з пружинними і електромагнітними приводами.

Використовуються в відкритих розподільчих пристроях 35 кВ комплектних трансформаторних підстанцій КТПБР-110/35/10(6), КТПБР- 35/10(6), в блоках розподільчих пристроїв тягових підстанцій залізниць, а також для заміни, відпрацювавших свій ресурс, повітряних та масляних вимикачів на діючих підстанціях. Зовнішній вигляд відмикача показано на рис. 3., а технічні параметри у табл. 3.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд відмикача ВР35НС

Таблиця 3.1 – Параметри вакуумного відмикача

Назва параметру		ВР35НС
Номінальна напруга, кВ		35
Номінальний струм, А		1600-2000
Номінальний струм вимикання, А		31,5
Струм ел.динамічної стійкості, кА		80
Комутаційний ресурс, циклів УВ	При ном. струмах	3000
	При ном. струмах вимкненн	55

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

РБ.141.19за.002 ПЗ

Лист

24

3.2 Вимірювальні трансформатори

3.2.1. Трансформатори напруги. До вимірювальних трансформаторів відносяться трансформатори струму и напруги.

Пропонується заміна трансформатора напруги НОМ-35 на трансформатор НАМИ-35 УХЛ1 виробництва ТОВ ЕЛІЗ [10].

НАМИ-35 УХЛ1 трансформатор напруги, трифазний, триобмотковий, з природними масляним охолодженням призначений для масштабного перетворення напруги змінного струму та передачі сигналу вимірювальної інформації приладам вимірювання, захисту, сигналізації, автоматики та управління в мережах змінного струму частоти 50 Гц з ізольованою нейтраллю.

Трансформатор виготовляється в кліматичному виконанні УХЛ, категорії розміщення 1 по ГОСТ 15150. Технічні параметри показано в табл.3.2, а зовнішній вигляд на рис. 3.3.

Умови експлуатації:

- висота над рівнем моря - не більше 1000 м;
- температура навколишнього повітря - від мінус 60 ° С до + 40 ° С;
- відносна вологість навколишнього повітря - 75% за температури + 15 ° С;
- верхнє значення відносної вологості - 100% за температури + 25 ° С;
- атмосферний тиск 650-800 мм рт. ст. (86 659-106 656 Па);
- навколишнє середовище - вибухонебезпечне;
- робоче положення трансформатора в просторі повинно бути вертикальним (виводи вгору).

Маркування:

- великими літерами А, В, С і Х позначають виводи первинної обмотки;
- малими літерами вказано призначення кожної вторинної обмотки і відповідні виводи: а, b, с - 0; ad - ad;

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		25

Таблиця 3.2 – Технічні параметри трансформатора напруги НАМИ-35 УХЛ1

Найменування параметрів	Значення
Номинальна напруга, кВ	
- первинної обмотки	35
- вторинної обмотки для вимірювання і захисту	0,1
- вторинної додаткової обмотки	0,1
Номинальна трифазна потужність, ВА	
- при вимірюванні міжфазних напруг в класах точності	
0,5	360
1,0	500
3,0	1200
- вторинної обмотки для вимірювання фазних напруг і симетричному навантаженні на вводах	
	240
- вторинної додаткової обмотки в класі точності 3,0	
	80
Гранично допустимі значення потужності, ВА	
- первинної обмотки	2000
- вторинної обмотки для вимірювань	1900
- вторинної додаткової обмотки	100
Схема та група з'єднань обмоток	Ун/Ун/По



Рисунок 3.3 – Трансформатор напруги НАМИ-35 УХЛ1

3.2.2. Трансформатори струму. Трансформатор струму - трансформатор, первинна обмотка якого підключена до джерела струму, а вторинна обмотка замикається на вимірювальні або захисні прилади, що мають малий внутрішній опір.

Вимірювальний трансформатор струму - трансформатор, призначений для перетворення струму до значення, зручного для вимірювання. Первинна обмотка трансформатора струму включається послідовно в ланцюг з вимірюваним змінним струмом, а у вторинну включаються вимірювальні прилади. Струм, що протікає по вторинній обмотці трансформатора струму, пропорційний струму, що протікає в його первинній обмотці.

Трансформатори струму широко використовуються для вимірювання електричного струму і в пристроях релейного захисту електроенергетичних систем, в зв'язку з чим на них накладаються високі вимоги по точності. Трансформатори струму забезпечують безпеку вимірювань, ізолюючи вимірювальні ланцюги від первинного кола з високою напругою, значення якої часто може дорівнювати сотням кіловольт.

До трансформаторів струму пред'являються високі вимоги по точності. Як правило, трансформатори струму виконують з двома і більше групами вторинних обмоток: одна використовується для підключення пристроїв захисту, інша, більш точна - для підключення засобів обліку і вимірювання (наприклад, електричних лічильників). Загальний вигляд трансформатора струму представлено на рис. 3.4, а головні технічні характеристики трансформатора струму в табл.3.3 [10].



Рисунок 3.4 – Трансформатори струму серії ТФЗМ

Трансформатори струму серії ТФЗМ виготовляються однокаскадні на напругу 35-220кВ та двокаскадні на напругу 500кВ.

Зовнішня ізоляція трансформаторів - порцеляновий покришка. Головна внутрішня ізоляція трансформаторів - паперово-масляна. Обмотки ланкового типу. Головна ізоляція розташована на первинній та вторинній обмотках. Кількість вторинних обмоток від двох до п'яти. Трансформатори відрізняються високою надійністю в експлуатації.

Перевагою трансформаторів є: широкий асортимент продукції по номінальному первинному току і класу точності (0,2; 0,5; 0,2S; 0,5S; 5K; 10P); можливість виготовлення виробів з будь-яким поєднанням класу точності і номінальною вторинної навантаження; висока надійність і точність вимірювання.

Таблиця 3.3 – Головні технічні характеристики трансформатора

Наіменування параметру	Величина
Номінальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга, кВ	40,5
Номінальний первинний струм, А	15, 20,30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000
Номінальний вторинний струм, А	5
<i>Трансформаторы с несколькими коэффициентами трансформации изготавливаются на максимальный ток, если не выставлено иное требование</i>	
Кількість вторинних обмоток, шт	2 или 3
- для вимірювань	1
- для захисту	2
Номінальне навантаження вторинних обмоток, ВА	30
<i>При роботі трансформатора в класі точності 0,2; 0,2S; 0,5S; 1; 5P номінальне вторинне навантаження може змінюватися у відповідності до ДСТУ ГОСТ 7746</i>	
Категорія зовнішньої ізоляції	Б
Струм електродинамічної стійкості, кА	3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63; 84; 127; 107; 134; 120; 106; 141
Струм термічної стійкості, кА	0,7; 1; 1,5; 2,1; 2,3; 3,5; 4,7; 7; 10,5; 15; 21; 31; 30; 37; 39; 41; 55
Частота змінного струму, Гц	50, 60
Час протікання струму короткого замикання, с	3

струму ТФЗМ-35 Б-І (ТФЗМ-40,5 ІІ-І)

3.3 Високовольтні роз'єднувачі

Роз'єднувачі серії РД(З) зовнішнього встановлення призначені для увімкнення та вимикання знеструмлених ділянок електричних кіл в мережах змінного струму частотою 50 Гц і напругою 35, 110 кВ, а також для заземлення вимкнутих ділянок за допомогою заземлювачів (при їх наявності). Ці роз'єднувачі також використовують для вимикання струмів холостого ходу трансформаторів та зарядних струмів повітряних і кабельних ліній. Комплектуються фарфоровими або полімерними опорними ізоляторами. Виготовляються в трьохполюсному виконанні з двома заземлювачами, з одним заземлювачем або без заземлювачів. Поставляються з ручними і (або) електродвигунними приводами. Для роз'єднувачів серії РД(З) 35 кВ можливі виконання з однією рухомою поворотною колонкою, або двома поворотними колонками. Технічні параметри роз'єднувача предсталені в табл. 3.5, а зовнішній вигляд – на рис. 3.5[12].

Таблиця 3.4 – Параметри РДЗ 35/1000

Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Струм електродинамічної стійкості,кА	Струм електермічної стійкості,кА	А	В
35	1000	40	16	I, II, III	-

Примітка:

А – конструктивне типовиконання по розташуванню заземлюючих ножів:

I – заземлювальні ножі розташовані з боку роз'ємних контактів;
II – з боку шарнірних контактів; III – з обох сторін.

В – конструктивне типовиконання по розташуванню прохідних ізоляторів:

II – з прохідним ізолятором з боку шарнірних контактів;
III – з прохідним ізолятором з боку роз'ємних контактів;
IV – з прохідними ізоляторами з обох сторін.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд роз'єднувачів серії РД(З) 35 кВ

РОЗДІЛ 4

ОБЛАДНАННЯ НА СТОРОНІ 6 КВ

4.1 Заміна вимірювальних трансформаторів

На підстанції встановлено трансформатори напруги масляні НТМІ-6, які потребують заміни на більш якісні та сучасні сухі трансформатори швейцарсько-шведської компанії АВВ - ТЈС 4 [15] (рис.4.1). Схематичне зображення трансформатора ТЈС 4 надано на рис.4.2, а його параметри для порівняння із встановленим трансформатором напруги НТМІ-6 данні приведені в таблиці 3.1.

Преваги сухого трансформатора над трансформатором з оливним охолодженням :

- надійність;
- компактність;
- економічність;
- екологічність.



Рисунок 4.1– Зовнішній вигляд ТJS 4

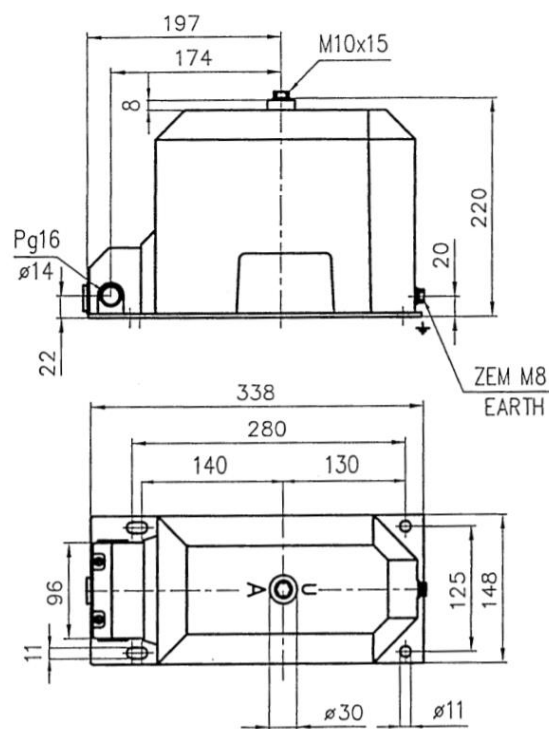


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення трансформатора ТJS 4

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

РБ.141.19за.002 ПЗ

Таблиця 4.1 – Порівняння птехнічних параметрів трансформаторів напруги НТМІ-6 і ТЈС 4

	НТМІ-6	ТЈС 4
Напруга первинної обмотки	6 кВ	$6000\sqrt{3}$
Напруга вторинної обмотки	100 В	$100\sqrt{3}$
Номинальна частота	50 Гц	50 Гц
Схема і група з'єднання обмоток	Y _н /Y _н /Π-0	Y _н /Y _н /Π-0
Клас точності основної вторинної обмотки	0,5	0,5

Пропонується замінити прохідний шинний литий вимірювальний трансформатор струму ТПШЛ-10 2000/5, який розташовано по низькій стороні трансформатора ТДНС-16000, на сучасний прохідний шинний трансформатор струму типу ТТR 65.1(параметри табл. 4.2.) [16] від швейцарсько-шведської компанії АВВ ТТR65.1. Зовнішній вигляд трансформатора ТТR 65.11 2000/5 надано на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд трансформатора ТТR65.11 2000/5

Таблиця 4.2 – Параметри трансформатор струму TTR65.12000/5.

Трансформатор	Номинальна напруга, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Номинальний первинний струм, А	Номинальний вторинний струм, А	Номинальний струм термічної стійкості, 1 або 3 с* кА
TTR 65.12000/5	10	60	2000	5	200

4.2 Вакуумні відмикачі

Використовуються масляні відмикачі ВМГ-133 і МГГ-10, які встановлені у 1954 році, вони відпрацювали свій механічний ресурс пропонується замінити їх на вакуумні вимикачі типу ВР2 [12].

Відмикач вакуумний внутрішньої установки серії ВР2(представлений на рисунку 4.3), з електромагнітним приводом призначений для комутації електричних високовольтних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частотою 50 (60) Гц з номінальною напругою 6 кВ для систем з ізольованою або частково заземленою нейтраллю.

Основні характеристики апарата:

- номінальна напруга, кВ – 10кВ;
- номінальний струм, А – 630,1000;
- номінальний струм відключення, кА – 20;
- струм електродинамічної стійкості, кА – 52;
- механічний ресурс – 100 000 циклів В/О;
- комутаційний ресурс при номінальних токах – 30 000 циклів В/О

Конструкція: всі відмикачі серії ВР типу ВР2 складаються з трьох полюсів з залитими епоксидним компаундом вакуумними дугогасильними камерами (ВДК), які розміщені на загальній основі. Електромагнітний

привод вимикача, який забезпечує фіксацію вимикачів у двох положеннях «О» і «В», на магнітних заціпках, розташований в корпусі вимикача. Сердечник електромагнітного привода через сережки пов'язаний з валом вимикача. Вал вимикача з'єднаний через ізоляційні тяги з ВДК, і при повороті керує контактами положення вимикача для зовнішніх допоміжних кіл. Тарілчасті пружини притискання практично у всіх вимикачах встановлені у втулках ізоляційних тяг. Ручне місцеве оперативне відключення вимикача практично виконується за допомогою окремого важеля відключення – універсального для всіх вимикачів серії ВР. Схеми блока управління реалізовані на друкованих платах, які встановлені в корпусах вимикачів серії ВР.

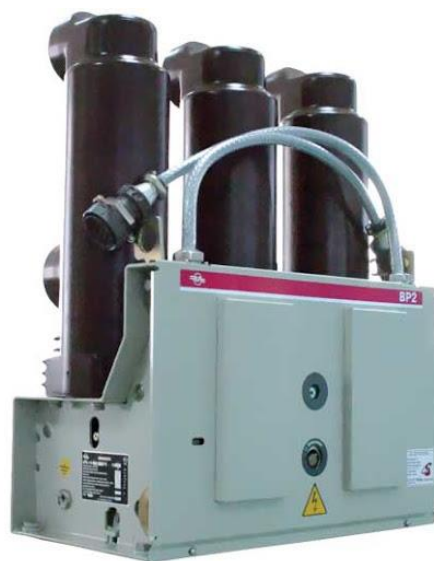


Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд відмикача типу ВР2

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		36

4.3 Трансформатор власних потреб

Трансформатор власних потреб (ТВП) служить для живлення ланцюгів керування, обігріву, сигналізації, освітлення, вентиляції і на інші потреби підстанції.

Трансформатори масляні трифазні двухобмоткові силові типу ТМГ 63

Виконано в герметичному виконанні з повним заповненням оливою. Температурні зміни обсягу оливи компенсуються зміною обсягу гофрованих стінок бака за рахунок їх пружної деформації. Перевагою герметичних трансформаторів є менші габарити за рахунок відсутності розширювального бака, а також відсутність безпосереднього контакту масла з атмосферою, що виключає поглинання вологи з навколишнього середовища і як наслідок - необхідність періодичного обслуговування.

Відповідають стандартам МЕК-76, ГОСТ 11677-85, ГОСТ Р 52719-2007, ТУ У 31.1-13608660-062: 2007.

Виробництво сертифіковане по ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 14001:2015.

Силові масляні знижуючі трифазні двухобмоткові загального призначення трансформатори призначені для потреб народного господарства для внутрішньої та зовнішньої установки.

Технічні характеристики:

Силові трансформатори ТМГ потужністю 25-2500 випускаються з номінальною напругою первинної обмотки (високої напруги) 6-10 кВ та вторинної обмотки (низької напруги) - 0,4 кВ. Схема й група з'єднань - У / УН -0; Д / УН-11.

Напруга регулюється без збудження. Для цього трансформатори оснащені високовольтними перемикачами, які приєднуються до обмотки високої напруги і дозволяють регулювати напругу ступенями при відключеному від мережі трансформаторі з боку НН і ВН з діапазоном ± 2 x

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		37

2,5%. Основні технічні характеристики показано в табл.4.3, а загальний вигляд трансформатора на рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Трансформатор типу ТМГ -1000 кВ·А

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		38

Таблиця 4.3 – Основні технічні характеристики трансформатора
ТМГ- 1000 напругою 6 кВ.

Потужність, кВА	Можливі напруги ВН, кВ	Можливі напруги НН, кВ	Схема і група з'єднання обмоток	Втрати Х.Х., кВт	Втрати К.З., кВт	U _к , %	I х.х., %
1000	6	0,4	У/У _н - 0;	1,1	13	6	0,12

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Для вибору електроустаткування, апаратів, кабелів, важливо знати струми короткого замикання (К.З.). При цьому досить визначати струм трифазного короткого замикання в місці пошкодження. При розрахунку визначають періодичну складову струму короткого замикання для найбільш важкого режиму роботи мережі. Розрахунок аперіодичної складової проводять приблизно, допускаючи при цьому, що вона має максимальне значення в даній фазі.

Розрахунок струмів при трифазному короткому замиканні проводять в наступному порядку:

1. Для даної установки складають розрахункову схему. Розрахункова схема - це однолінійна схема електроустановки з вказівкою тих елементів і їх параметрів, які впливають на значення струму короткого замикання і тому повинні враховуватися при виконанні розрахунків. Розрахункова схема установки повинна відображати нормальний режим роботи. На розрахунковій схемі яка зображена на рисунку 5.1 намічають розрахункові точки короткого замикання - так, щоб апарати і провідники потрапляли в найбільш важкі умови роботи. Виключенням є апарати в ланцюги приєднань з реактором, вибрані по струму короткого замикання за реактором.

У приведених схемах передбачена роздільна робота трансформаторів по низькій стороні.

2 По розрахунковій схемі складають схему заміщення, замінюючи електромагнітні зв'язки електричними, джерела вводять в схему заміщення як

Е.Р.С. і опори, решта елементів – як опори. Розрахунок струмів короткого замикання можна вести як в іменованих, так і у відносних одиницях.

У мережах і установках напругою до 1000 В звичайно розрахунок проводять в іменованих одиницях. У установках напругою понад 1000 В прийнято всі опори короткозамкненого ланцюга приводити до базисних умов і виражати у відносних одиницях. Заздалегідь приймають базисну потужність S_{σ} (100 або 1000 МВА). За базисну напругу приймають середню номінальну напругу ($U_{\sigma} = U_{cp}$) того ступеня, на якому передбачається коротке замикання. Таким чином, для кожної точки короткого замикання будуть свої базисні напруги S_{σ} і струми I_{σ} :

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}, \quad (5.1)$$

Складаємо схему заміщення для розрахунку трифазного к. з. для лінії і підстанції (рис. 5.2) і розраховуємо струм к. з. для початкового моменту часу і ударний струм к. з. при пошкодженні в точках К1 і К2. Початкові данні приведені на рис. 5.1 . Струми к. з. у точці К1 визначаються для вибору апаратів у колі трансформатора з високою напругою $U_{вн} = 35$ кВ; у точці К2 - для вибору апаратів у колі трансформатора з низькою напругою $U_{нн} = 6$ кВ.

Розрахунок за умови необмеженої потужності живлячої системи дозволяє визначати граничні можливі значення струмів короткого замикання в даній установці, що особливо важливо, якщо немає точних вказівок про подальший розвиток системи. Вибір електроустаткування по цих значеннях струмів короткого замикання дає гарантію в тому, що при будь-якому розвитку системи запроектовану установку не доведеться переобладнати, оскільки при будь-якій потужності системи дійсні значення струмів короткого замикання в установці будуть менше розрахункових.

Для спрощення розрахунків для кожного електричного ступеню замість дійсної напруги на шинах указуємо середню напругу U_{cp} , кВ, згідно шкали: 770; 515; 340; 230; 154; 115; 37; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15 [13].

Приймаємо для високої напруги (номінальна напруга 35 кВ)

$$U_{срв} = 37 \text{ кВ.}$$

Приймаємо для низької напруги (номінальна напруга 6 кВ)

$$U_{срн} = 6,3 \text{ кВ.}$$

5.1 Розрахунок струмів короткого замикання у відносних одиницях

Схема заміщення для розрахунку трифазних К. З. представлена на рис. 4.2. Навантаження, що розташоване поблизу генераторів системи (джерело живлення), враховуємо зменшенням Е. Р. С. генераторів до $E''=1$.

Визначимо опори схеми рис. 2 при базовій потужності:

$$S_{\bar{b}} = 1000 \text{ МВА.}$$

Реактивний опір енергосистеми, в.о.:

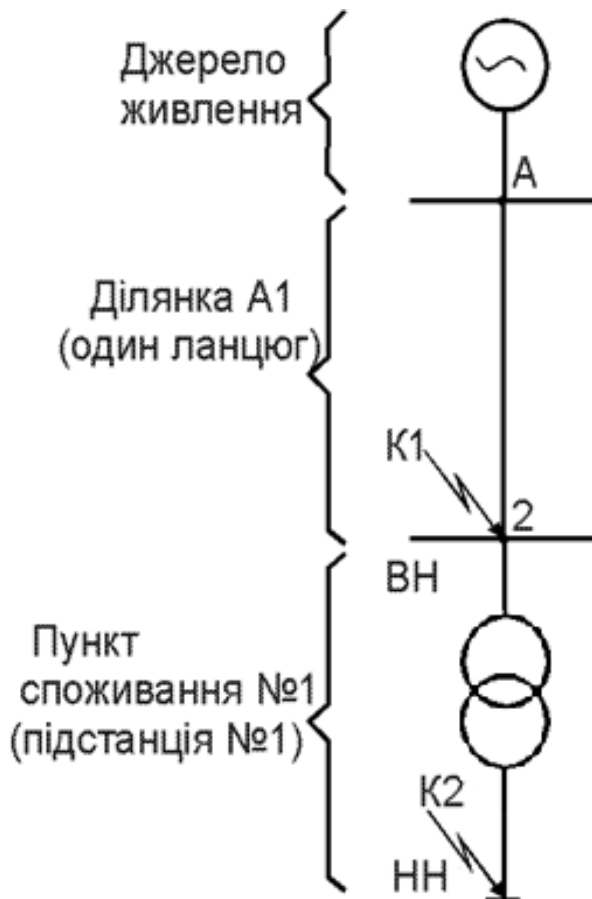
$$x_{*c} = \frac{S_{\bar{b}}}{S_k} = 1000/500 = 2 \quad (5.2)$$

Реактивний опір ділянки мережі (одноланцюгової при к. з.) визначаємо таким чином. Беремо для проводу ділянки АС-150, питомий реактивний опір проводу ділянки (реактивний опір проводу на 1 км, x_0 , Ом)

$$x_0 = 0,406 \text{ Ом/км.}$$

Реактивний опір ділянки, в.о. (відносні одиниці),

$$x_{*л} = x_0 \cdot l_{д\dot{л}} \cdot \frac{S_{\dot{б}}}{U_{срв}^2} = 0,406 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{37^2} = 0,89 \quad (5.3)$$



Потужність короткого замикання на шинах системи $S_{кз} = 500$ МВА (завдання на курсову роботу)
Середня номінальна напруга з високої сторони $U_{срв} = 37$ кВ

Реактивний опір та довжина ділянки мережі $l_{д\dot{л}} = 3$ км (завдання на курсову роботу)
 $X_0 = 0,4$ Ом/км

$U_{срв} = 37$ кВ

Номінальна потужність трансформатора $S_{нт} = 16$ МВА (завдання на курсову роботу)
Напруга короткого замикання трансформатора $U_{к\%} = 10\%$ (табл.2.3)

Середня номінальна напруга з низької сторони $U_{срн} = 6,3$ кВ

Рисунок 5.1– Розрахункова схема для визначення струмів к. з. для підстанції з двообмотковим трансформатором

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

Опір трансформатора підстанції визначається таким чином:
беремо з табл. 2.3: $U_K \% = U_{кВН-НН} \% = 10 \% ; S_{нтр} = 16 \text{ МВА}$.

Опір двообмоткового трансформатора без розчеплення вторинної обмотки визначається, в.о.:

$$x_{тбр*} = \frac{U_{кВН-НН} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{нтр}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6,25. \quad (5.4)$$

Приймаємо для вибраного трансформатора: $x_{т*} = 6,25 \text{ в. о.}$

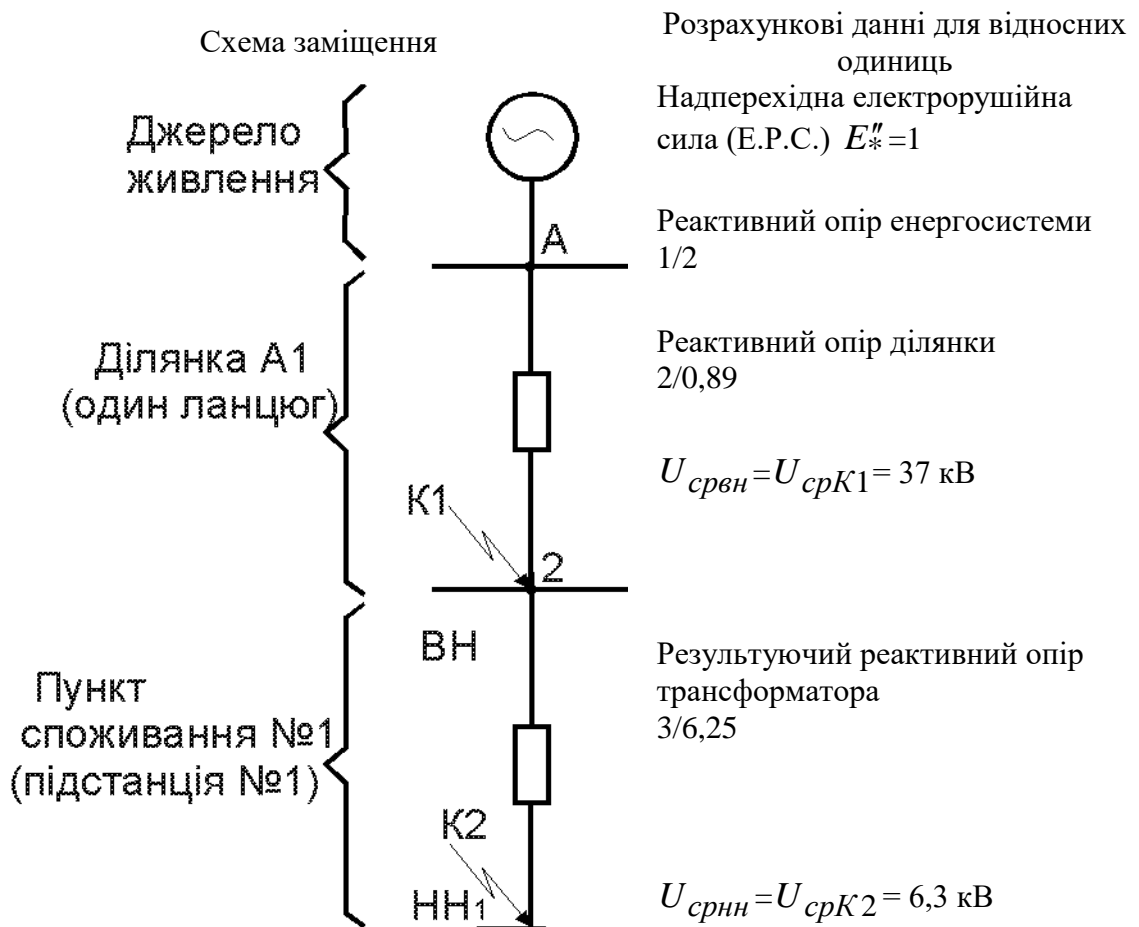


Рисунок 5.2 – Схема заміщення для визначення струмів к. з. для підстанції.

5.1.1. Коротке замикання в точці К1. Результуючий опір ділянки мережі від генератора до точки замикання К1, в. о.,

$$x_{резк1*} = x_{*л} + x_{*с} = 2 + 0,89 = 2,89. \quad (5.5)$$

Базовий струм ділянки мережі до точки замикання К1, кА

$$I_{бк1} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{срК1}} = \frac{1000}{1,73 \cdot 37} = 15,623 \quad (5.6)$$

Початкове значення періодичної складової струму к. з. в точці К1, кА,

$$I_{н0к1} = \frac{E''}{x_{резк1*}} I_{бк1} = \frac{1}{2,89} \cdot 15,623 = 5,406 \quad (5.7)$$

5.1.2. Коротке замикання в точці К2. Результуючий опір ділянки мережі від генератора до точки замикання К2, в. о.

$$x_{резк2*} = x_{резк1*} + x_{м*} = 2,89 + 6,25 = 9,14 \quad (5.8)$$

Базовий струм ділянки мережі до точки замикання К2, кА,

$$I_{бк2} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{срК2}} = \frac{1000}{1,73 \cdot 6,3} = 91,752 \quad (5.9)$$

Початкове значення періодичної складової струму к. з. в точці К2, кА,

$$I_{н0к2} = \frac{E''}{x_{резк2*}} I_{бк2} = \frac{1}{9,14} \cdot 91,752 = 10,039 \quad (5.10)$$

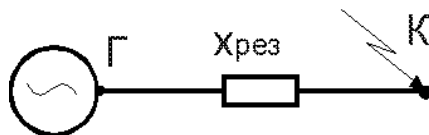


Рисунок 5.3 – Результуюча схема заміщення

5.2 Визначення ударних струмів трифазного короткого замикання

Для вибору електричних апаратів і провідників по стійкості до струмів К. З. необхідно розраховувати максимальне миттєве значення струму К. З., або ударний струм, який настає через 0,01 с з моменту виникнення короткого замикання.

Ударний струм при К. З. в точці К1. У ланцюгах установок напругою вище 1000 в з переважаючим індуктивним опором ударний коефіцієнт

$$k_{yk1}=1,8.$$

Ударний струмів точці К1, кА,

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_{yk1} \cdot I_{n0k1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 5,406 = 13,72 \quad (5.11)$$

Ударний струм при к. з. в точці К2. Ударний коефіцієнт визначається з табл. 5.1 [14] для системи, що пов'язана зі збірними шинами 6 кВ, через трансформатор потужністю 16 МВА: $k_{yk2}=1,85$.

Ударний струм в точці К2, кА,

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{n0k2} = 1,41 \cdot 1,85 \cdot 10,039 = 26,187$$

Таблиця 5.1–Середні значення відношення X/R , ударного коефіцієнта $K_{уд}$ постійної часу T_a для характерних гілок, що примикають до точки короткого замикання

Найменування гілки або місце КЗ.	X/R	$K_{уд}$	T_a , з
К.З. на приєднанні РУ ВН підстанції	15	1,8	0,05
К.З. на приєднанні НН підстанції	20	1,85	0,06

Для кола високої напруги трансформатора підстанції .

Діюче значення періодичної складової струму короткого замикання

$$I_{n\tau k1} = I_{n0k1} = 5,406 \text{ кА.}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} i_{n0} e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (5.12)$$

де T_a – постійна часу ланцюга К. З., у ланцюгах установок напругою вище

1000 в з переважаючим індуктивним опором $T_a = 0,05$ с., [19];

τ – розрахунковий час, для якого потрібно визначати струми к. з., обчислюється як

$$\tau = t_{св} + t_{рз\ min} \text{ с}, \quad (5.13)$$

де $t_{св}$ – власний час вимикача. Для сучасних вимикачів він не перевищує 0,1 с, приймаємо $t_{свк1} = 0,1$ с;

$t_{рз\ min}$ – час спрацювання релейного захисту, $t_{рз\ min} = 0,01-0,02$ с, приймаємо $t_{рз\ min\ к1} = 0,01$ с.

Тоді розрахунковий час

$$\tau_{к1} = t_{свк1} + t_{рз\ min\ к1} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ с.}, \quad (5.14)$$

По рис. 5.4 [14] для $T_{ак1} = 0,05$ с і $\tau_{к1} = 0,12$ с визначаємо коефіцієнт загасання аперіодичної складової

$$\alpha_{тк1} = e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 0,11 \quad (5.15)$$

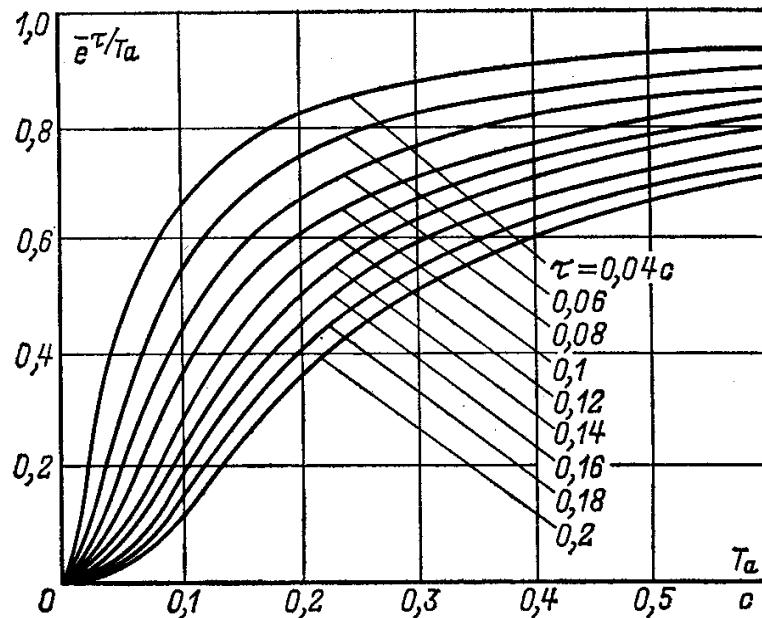


Рисунок 5.4 – Криві для визначення коефіцієнта загасання аперіодичної складової струму к. з. (α_f)

Аперіодична складова струму короткого замикання для точки К1, кА,

$$i_{a\tau k1} = \sqrt{2} I_{нок1} e^{-\frac{\tau_{к1}}{T_{ак1}}} = 1,41 \cdot 5,406 \cdot 0,11 = 0,838 \quad (5.16)$$

Для кола низької напруги трансформатора підстанції (точка К2, рис.5.1).

Діюче значення періодичної складової струму короткого замикання

$$I_{n\tau k2} = I_{нок2} = 10,039 \text{ кА.}$$

Аперіодична складова струму короткого замикання [7,8,19].

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} i_{но} e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (5.17)$$

де T_a – постійна часу, визначається з табл. 4.1 для системи, що пов'язана зі збірними шинами 6 кВ, через трансформатор потужністю 16 МВА:

$$T_{ак2} = 0,06 \text{ с;}$$

τ – розрахунковий час, для якого потрібно визначати струм К. З.,

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата

$$\tau = t_{св} + t_{рз\ min} \text{ с, ,} \quad (5.18)$$

де $t_{св}$ – власний час вимикача. Для сучасних вимикачів він не перевищує 0,2 с, приймаємо $t_{свк2}=0,2$ с;

$t_{рз\ min}$ – час спрацювання релейного захисту, $t_{рз\ min} = 0,01- 0,02$ с, приймаємо $t_{рз\ min\ к2} = 0,01$ с.

Тоді розрахунковий час:

$$\tau_{к2} = t_{свк2} + t_{рз\ min\ к2} = 0,2 + 0,01 = 0,21 \text{ с.} \quad (5.19)$$

Для $T_{ак1} = 0,06$ с і $\tau_{к1} = 0,21$ с визначаємо

$$\alpha_{тк2} = e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 0,15$$

Аперіодична складова струму короткого замикання для точки К2, кА

$$i_{а\ тк2} = \sqrt{2} I_{нок2} e^{-\frac{\tau_{к1}}{T_{ак1}}} = 1,41 \cdot 10,039 \cdot 0,15 = 2,123 \quad (5.20)$$

5.3 Визначення теплового імпульсу

Для вибору апарата по термічній стійкості до короткого замикання визначимо тепловий імпульс, що впливає на вимикач при к. з. по формулі:

$$B_k = I_{но}^2 \cdot (t_{відк} + T_a), \quad (5.21)$$

де $t_{відк}$ – час відключення мережі.

T_a – постійна часу ланцюга К. З., у ланцюгах установок напругою вище 1000 в з переважаючим індуктивним опором $T_a = 0,05$ с. [13].

Час відключення к. з., який потрібен для оцінки термічної стійкості апаратів, визначається:

$$t_{відк} = t_{відвим} + t_{релзах} \cdot \quad (5.22)$$

де $t_{відвим}$ - час повного відключення мережі вимикачем - проміжок часу від подачі команди на відключення до моменту згасання дуги у всіх полюсах;

$t_{релзах}$ – час дії основного релейного захисту, можливо прийняти.

Час відключення к. з також залежить від ступені селективності, так для ліній, що відходять, на стороні 35 кВ цей час дорівнює 0,5 с, для секційного, та ввідного вимикача на стороні 6 кВ час дорівнює 1 с, для чарунки введення на стороні 6 кВ час дорівнює 1,5 с.

З урахуванням дійсних характеристик вимикачів одержимо час відключення к. з. [8,9,19],

Тепловий імпульс при к. з. в точці К1 (для $t_{відк}=1,5$ с), $кА^2с$,

$$B_{к1} = I_{пок1}^2 \cdot (t_{відк} + T_a) = 5,406^2 \cdot (1,5 + 0,05) = 45,3 \quad (5.23)$$

Тепловий імпульс при к. з. в точці К2 (для $t_{відк}=с$), $кА^2с$,

$$B_{к2} = I_{пок2}^2 \cdot (t_{відк} + T_a) = 10,039^2 \cdot (1 + 0,06) = 106,83, \quad (5.24)$$

де $T_{ак2}$ - постійна часу визначається з табл. 3.1[14] для системи, що пов'язана зі збірними шинами 6, через трансформатор потужністю 16 МВА, $T_{ак2} = 0,06$ с.

5.4 Заходи і засоби обмеження струмів короткого замикання

Протягом останніх десятиліть струми короткого замикання в електричних системах сильно збільшуються унаслідок збільшення потужності станцій і розвитку мереж.

Застосування електроустаткування і кабелів, які розраховані на великі струми короткого замикання, приводить до значного збільшення витрат на споруду електроустановок і їх мереж. В деяких випадках струми короткого замикання можуть бути настільки великі, що взагалі виявляється неможливим вибір електроустаткування та кабелів, стійких до коротких замикань. Тому в електроустановках застосовують штучні заходи обмеження струмів короткого замикання, чим забезпечується можливість застосування дешевшого електроустаткування.

У загальному випадку обмеження струмів короткого замикання досягається збільшенням опору ланцюга короткого замикання. Для цього використовують:

- 1) роздільну роботу знижувальних трансформаторів і ліній живлячої мережі;
- 2) застосування трансформаторів з розщепленими обмотками;
- 3) включення послідовно в три фази опорів – активних або індуктивних (реакторів);
- 4) застосування системи з ефективно заземленим нейтралом в установках 35 кВ для обмеження струмів однофазного короткого замикання.

РОЗДІЛ 6

ПЕРЕВІРКА ВИСОКОВОЛЬТНОГО УСТАТКУВАННЯ ПІДСТАНЦІЇ

6.1 Перевірка устаткування 35 кВ

Як видно з рис. 1.1 основними елементами підстанції є: роз'єднувачі, силові трансформатори, масляні вимикачі, трансформатори струму, трансформатори напруги,.

При виборі електроустаткування в мережах напругою вище 1000 В слід враховувати:

- 1) по призначенню і роду установки;
- 2) по конструктивному виконанню (з великим об'ємом масла, з малим об'ємом масла, повітря і так далі);
- 3) по номінальній напрузі установки:

$$U_{с.ном} \leq U_n, \quad (6.1)$$

де $U_{с.ном}$ – номінальна напруга устаткування,

U_n – номінальна напруга розподільчого пристрою високої сторони 35 кВ;

- 4) по тривалому струму:

$$I_p \leq I_{ном}, \quad (6.2)$$

де I_p – розрахунковий струм, вибирається з найбільш несприятливого експлуатаційного режиму приймаємо

$$I_p = I_{ав} = 237 \text{ А} \quad (6.3)$$

$I_{ном}$ – номінальний струм устаткування .

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		52

5) по відключаючій здатності:

$$I_{n0} \leq I_{np.c}, \quad (6.4)$$

де $I_{np.c}$ - граничний крізний струм (діюче значення періодичної складової),

I_{n0} – початкове значення періодичної складової струму к. з. в точці К1 $I_{n0}=5,406$ кА, ;

Устаткування необхідно перевіряти на:

2) електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (6.5)$$

де $i_{np.c}$ – номінальний струм електродинамічної стійкості вимикача (амплітудне значення граничного повного струму)

i_y – ударний струм в точці К1 $i_y=25,781$ кА, ;

2) термічну стійкість:

$$B_k \leq I_{np.\tau}^2 \cdot t_\tau, \quad (6.6)$$

де B_k – тепловий імпульс струму короткого замикання за розрахунком

$$B_k = 45,3 \text{ кА}^2 \text{ с},$$

$I_{np.\tau}$ – граничний струм термічної стійкості;

До вимірювальних трансформаторів відносяться трансформатори струму та трансформатори напруги

Трансформатор струму призначений для зменшення первинного струму до значень, які найбільш підходять для вимірювальних приладів та реле, а також для відділення ланцюгів вимірювання та захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

Трансформатор напруги призначений для зниження високої напруги до стандартного значення 100 або $100/\sqrt{3}$ В та для відділення ланцюгів вимірювання та релейного захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

Трансформатори напруги обираються:

по напрузі встановлення

$$U_{\text{вст.}} \leq U_{\text{ном.}}; \quad (6.7)$$

по конструкції та схемі з'єднання обмоток;

по класу точності;

вторинному навантаженню

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном.}} \quad (6.8)$$

Трансформатори струму обирають:

по напрузі встановлення

$$U_{\text{вст.}} \leq U_{\text{ном.}};$$

по струму

$$I_{\text{норм.}} \leq I_{\text{ном.}}; I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.}}; \quad (6.9)$$

по конструкції та класу точності;

по електродинамічній стійкості:

$$i_y \leq k_{\text{ед.}} \sqrt{2} I_{1. \text{ ном.}}, i_y \leq i_{\text{дин.}}; \quad (6.10)$$

по термічній стійкості

$$B_k \leq (k_T I_{1. \text{ ном.}})^2 t_{\text{тер.}}; B_k \leq I^2_{\text{тер.}} \cdot t_{\text{тер.}}; \quad (6.11)$$

по вторинному навантаженню

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном.}}$$

Таблиця 6.1 – Вибір і перевірка устаткування на стороні високої напруги 35 кВ

Найменування і тип електроустаткування	Умови вибору	Розрахункові дані	Технічні параметри	Перевірка умови
1	2	3	4	5
Роз'єднувачі РД(З) 35 - /1000У1	$U_{с.ном} \leq U_{ном}, \text{кВ}$	$U_{с.ном} = 35$	$U_{ном} = 35$	$35 \leq 35$
	$I_p \leq I_{ном}, \text{А}$	$I_p = 237$	$I_{ном} = 1000$	$237 \leq 1000$
	$I_{но} \leq I_{пр.с}, \text{кА}$	$I_{но} = 5,406$	$I_{пр.с} = 40$	$5,406 \leq 40$
	$B_k \leq I_m^2 \cdot t_m, \text{кА}^2 \text{с}$	$B_k = 45,3$	$I_T^2 \cdot t_T = 16^2 \cdot 3$	$45,3 \leq 768$
Трансформатор напруги НАМИ-35 УХЛ1	$U_{с.ном} \leq U_{ном} \text{кВ}$	$U_{с.ном} = 35$	$U_{ном} = 35$	$35 \leq 35$
	$S_{2\Sigma} \leq S_{ном.}$	$S_{2\Sigma} = 50$	$S_{ном.} = 700$	$50 \leq 700$
Вакуумний вимикач ВР-35	$U_{с.ном} \leq U_{ном} \text{кВ}$	$U_{с.ном} = 35$	$U_{ном} = 35$	$35 \leq 35$
	$I_p \leq I_{ном} \text{А}$	$I_p = 237$	$I_{ном} = 1000$	$237 \leq 1000$
	$I_{но} \leq I_{пр.с} \text{кА}$	$I_{но} = 5,406$	$I_{пр.с} = 16$	$5,406 \leq 16$
	$i_y \leq i_{дин} \text{кА}$	$i_y = 25,781$	$i_{дин} = 80$	$25,781 \leq 80$
	$B_k \leq I_m^2 \cdot t_m \text{кА}^2 \text{с}$	$B_k = 45,3$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3$	$45,3 \leq 1200$
Трансформатор и струму ТФЗМ-35 Б-І	$U_{с.ном} \leq U_{ном} \text{кВ}$	$U_{с.ном} = 6$	$U_{ном} = 20$	$6 \leq 20$
	$I_p \leq I_{ном} \text{А}$	$I_p = 237$	$I_{ном} = 2000$	$237 \leq 2000$
	$S_2 \leq S_{2ном}, \text{ВА}$	$S_2 = 30$	$S_{2ном} = 30$	$30 \leq 30$

6.2 Перевірка устаткування на стороні 6 кВ

Трансформатор напруги призначений для зниження високої напруги до стандартного значення 100 або $100/\sqrt{3}$ В та для відділення ланцюгів вимірювання та релейного захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

Трансформатори напруги обираються:

по напрузі встановлення

$$U_{\text{вст.}} \leq U_{\text{ном.}};$$

по конструкції та схемі з'єднання обмоток;

по класу точності;

вторинному навантаженню:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном.}}$$

Таблиця 6.2 – Перевірка трансформатора напруги ТЈС4.

Трансформатор напруги ТЈС4	$U_{\text{с.ном}} \leq U_{\text{ном}}$ кВ	$U_{\text{с.ном}} = 6$ кВ	$U_{\text{ном}} = 6/\sqrt{3}$	$6 \leq 6/\sqrt{3}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$	$S_{2\Sigma} = 300$	$S_{\text{ном.}} = 300$	$300 \leq 300$

Вимикач вакуумний внутрішньої установки серії ВР2 з електромагнітним приводом призначений для комутації електричних високовольтних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частотою 50 (60) Гц з номінальною напругою 6 кВ для систем з ізольованою або частково заземленою нейтраллю. Основні характеристики апарата:

- Номінальна напруга, кВ – 10кВ;
- Номінальний струм, А - 630,1000;

- Номінальний струм відключення, кА - 20;
- Струм електродинамічної стійкості, кА - 52;
- Механічний ресурс - 100 000 циклів В/О;
- Комутаційний ресурс при номінальних токах - 30 000 циклів В/О

Таблиця 6.3– Перевірка вакуумного вимикача типу ВР2.

Найменування і тип електроустаткування	Умови вибору	Розрахункові дані	Технічні параметри	Перевірка умови
1	2	3	4	5
Вакуумний вимикач ВР2 Вакуумний вимикач ВР2	$U_{с.ном} \leq U_{ном}$ кВ	$U_{с.ном} = 6$	$U_{ном} = 10$	$6 \leq 10$
	$I_p \leq I_{ном}$ А	$I_p = 237$	$I_{ном} = 630,1000$	$237 \leq 630,1000$
	$I_{но} \leq I_{пр.с}$ кА	$I_{но} = 5,406$	$I_{пр.с} = 52$	$5,406 \leq 52$
	$i_y \leq i_{дин}$ кА	$i_y = 25,781$	$i_{дин} = 45$	$25,781 \leq 45$
	$B_k \leq I_m^2 \cdot t_m$ кА ² с	$B_k = 45,3$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3$	$45,3 \leq 1200$

6.3 Живлення власних потреб (ВП) підстанції

Склад споживачів ВП підстанції це електродвигуни обдува автотрансформаторів, опалення приміщення ГЩК, допоміжних приміщень, приміщення акумуляторної, підігрів приводів вимикачів роз'єднувачів, шаф РЗА, КРУН, а також освітлення підстанції та керування роз'єднувачами 35 кВ.

Найбільш відповідальними споживачами ВП підстанції є оперативні ланцюги, система зв'язку, телемеханіка, система охолодження автотрансформаторів, аварійне освітлення, система пожежогасіння.

Потужність споживачів в.п. невелика, тому вони приєднані до мережі 220/380 В, яка живиться від понижувальних трансформаторів.

Потужність трансформаторів в.п. обирається по навантаженню ВП з урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності:

$$S_{\text{разр.}} = k_c \sqrt{P_{\text{вст.}}^2 + Q_{\text{вст.}}^2} \quad (6.12)$$

де k_c – коефіцієнт попиту, який враховує коефіцієнт одночасності та завантаження; $k_c = 0,8$.

Потужність трансформаторів в.п. обирається по формулі:

$$S_T \geq S_{\text{разр.}}/K_{\text{п}} \quad (6.13)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт припустимого аварійного перевантаження; можна прийняти рівним 1,4.

Шини 0,4 кВ секційовані. На підстанції є оперативний постійний струм.

Трансформатори ВП приєднані до шин розподільчого пристрою 10 кВ.

Перевіримо існуючі трансформатори власних потреб:

$$P_{\text{вст.}} = 747,9 \text{ кВт}; Q_{\text{вст.}} = 64,23 \text{ кВАр.}$$

$$S_{\text{розр.}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{747,9^2 + 64,23^2} = 600 \text{ кВА.}$$

$$S_T = 600,5/1,4 = 428,9 \text{ кВА.}$$

(табл. 4.2.).

$$P_{\text{вст.}} = 747,9 \text{ кВт}; Q_{\text{вст.}} = 64,23 \text{ квар.}$$

$$S_{\text{розр.}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{747,9^2 + 64,23^2} = 600 \text{ кВА.}$$

$$S_T = 600,5/1,4 = 428,9 \text{ кВ·А.}$$

Обираємо трнсформатор ТМГ- 1000 кВА напругою 6 кВ.

Таблиця 6.5 – Трансформатор ТМГ- 1000 напругою 6 кВ.

Тип	Номинальна потужність, кВ·А	Номинальна напруга обмоток, кВ		Втрати, кВт		Напруга к.з., U_k , %	Струм х.х. номінального струму
		ВН	НН	Втрати х.х., кВт	Втрати к.з., кВт		
ТМГ- 1000	1000	6	0,4	1,1	13	6	0,12

Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ

7.1 Небезпечні фактори в електромережах

Для людини небезпечним фактором є сила струму (А), а напруга (В) небезпечна тільки як фактор, що спричиняє можливість протікання струму через людину. Ураження електричним струмом залежить від багатьох чинників, у тому числі від опору тіла людини та електропровідності середовища, у якому людина знаходиться [20,21].

Дія електричного струму на організм залежить від індивідуальних властивостей, фізичних і психічних станів людини. Нездужання, втома, голод, сп'яніння та емоційне збудження приводять до зниження опору тіла. Опір тіла людини залежить і від параметрів середовища приміщення : вологості, температури, наявності струмопровідного пилу та підлоги тощо.

Приміщення з електробезпеки поділяються на 3 групи:

1. Приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, добре опалювальне, приміщення з струм непровідними підлогами, з температурою 18-20 °, з вологістю 40-50%.

2. Приміщення з підвищеною небезпекою (де є один з наступних ознак: підвищена температура, вологість 70-80%, струмопровідні підлоги, металевий пил, наявність заземлення, великого к-ва обладнання).

3. Приміщення особливо небезпечні, в яких є наявність двох ознак з другої групи або є в приміщенні їдкі або отруйні вибухонебезпечні речовини.

									Лист
									60
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата					

Електроустановки повинні бути укомплектовані випробуваними, готовими до використання захисними засобами, а також засобами надання першої медичної допомоги відповідно до чинних норм і правил.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустановки;
- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

Недоступність струмопровідних частин для випадкового дотику досягається ізоляцією їх струмонепровідними матеріалами. Провідники електричного струму повинні мати робочу ізоляцію. Передбачено застосування в деяких випадках додаткової, підсиленої чи лінійної ізоляції.

Недоступність розташування струмопровідних частин досягається розміщенням їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують у всіх випадках, якщо напруга перевищує:

- 42 В – в приміщеннях з підвищеною небезпекою;

У випадку напруги понад 250 В огорожують не тільки незахищені, але й ізольовані струмопровідні частини.

Захисне заземлення, занулення і відключення – основні заходи захисту людей від ураження електричним струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустановки.

В установках напругою до 1000 В опір захисного заземлення в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом (з потужністю джерела струму 100 кВА і менше опір заземлення допускається не більше 10 Ом). Оскільки опір заземлення значно менший за опір тіла людини (1000 Ом), то у випадку її дотику до пошкодженого електроустановки найбільший за величиною

струм пройде через заземлюючий пристрій. При цьому в найнесприятливішому випадку, коли опір тіла і взуття рівні нулю, через тіло людини пройде струм.

Статична електрика – це сукупність явищ, що пов'язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об'ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. Поява зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різнорідних тіл (речовин). Небезпекою статичної електрики є можливість спричинити вибух чи небезпеку пожежі, впливу на організм людини, порушення технічних процесів, викликати вихід із ладу напівпровідникових приладів.

Засоби захисту від статичної електрики:

- заземлення робочих площадок, зниження електропровідності матеріалів шляхом нанесення на поверхню антистатичних добавок, підвищення відносної вологості повітря;
- виготовлення поверхонь, які труться, з однорідних металів;
- забезпечення робітників засобами індивідуального захисту (струмопровідне взуття, килимки, антистатичні халати з бавовни, браслети, кільця).

Електроустановки повинні бути укомплектовані випробуваними, готовими до використання захисними засобами, а також засобами надання першої медичної допомоги відповідно до чинних норм і правил.

Електричні опіки - найбільш поширені електротравми. Вони складають 60-65%, причому 1/3 їх супроводжується іншими електротравмами.

Розрізняють опіки: струмовий (контактний) і дугового.

Електротравми - локальні ураження тканин (металізація шкіри, електричні знаки і опіки) і органів (різкі скорочення м'язів, фібриляція серця, електрофтальмія, електроліз крові) є результатом впливу електричного струму або електричної дуги на людину.

За ступенем впливу на організм людини розрізняють чотири стадії:

I - слабкі, судомні скорочення м'язів;

II - судомні скорочення м'язів, втрата свідомості;

III - втрата свідомості, порушення серцевої і дихальної діяльності;

IV - клінічна смерть, тобто відсутність дихання і кровообігу.

Електричні знаки - являють собою чітко окреслені плями сірого або блідо-жовтого кольору на поверхні шкіри людини, що піддався дії струму. Знаки мають круглу або овальну форму з поглибленням в центрі.

Механічні ушкодження, які є наслідком впливу шкідливих факторів, пов'язаних з використанням електричної енергії (падіння з висоти, удари), також можуть бути віднесені до електротравма. Крім того, електричний струм викликає мимовільне скорочення м'язів (судоми), яке ускладнює звільнення людини від контакту з струмоведучими частинами.

Професійні захворювання проявляються, як правило, в порушеннях функціонального стану нервової та серцево-судинної систем. У людей, які працюють в зоні впливу електричного і магнітного полів, електростатичного поля, електромагнітних полів радіочастот, з'являються дратівливість, головний біль, порушення сну, зниження апетиту, порушення репродуктивної функції та ін.

7.2 Охорона праці

Охорона праці – чинна (що діє на підставі відповідних законодавчих та інших нормативних актів) система соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, які забезпечують збереження здоров'я і працездатність людини під час праці[20,21].

Безпека праці становить частину загального комплексу заходів з охорони праці, що забезпечує здорові, раціональні та безпечні умови праці на

виробництві. Повна безпека працюючих забезпечується правилами електробезпеки та протипожежними заходами.

Типова інструкція для працівників повинна містити наступні розділи:

- загальні вимоги охорони праці (включаючи посадові обов'язки працівника);
- вимоги охорони праці перед початком роботи;
- вимоги охорони праці під час роботи;
- охорони праці в аварійних ситуаціях;
- вимоги охорони праці після закінчення роботи.

Електромонтером з ремонту й обслуговуванню електроустаткування цеху допускаються особи не молодше 18 років, маючи спеціальну підготовку в об'ємі не нижче технічного училища й отримавши групу з електробезпеки не нижче другої.

Електричні установки і пристрої повинні бути в повній справності, для чого відповідно до правил експлуатації їх потрібно періодично перевіряти. Неструмопровідні частини, що перебувають під напругою в результаті пробою ізоляції, повинні бути надійно заземлені.

Для безпечного проведення робіт слід вживати таких організаційних заходів:

- призначення працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видавання наряду або розпорядження;
- видавання дозволу на підготовку робочих місць та на допуск;
- підготовка робочого місця та допуск до роботи;
- нагляд під час виконання роботи;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

Відповідальними за безпечне проведення робіт є:

- працівник, який видає наряд, віддає розпорядження;

- працівник, який дає дозвіл на підготовку робочого місця та на допуск;
- працівник, який готує робоче місце*;
- працівник, який допускає до роботи (допускач)*;
- керівник робіт;
- працівник, який спостерігає за безпечним виконанням робіт (наглядач);
- член бригади.

Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмовідні частини слід огороджувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмовідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмовідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмовідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмовідні частини, що залишилися під напругою, і вивісити на

огородження плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмовідні частини огороджують до або після їх заземлення.

7.3 Пожежна безпека

Основними причинами пожеж в електроустановках є короткі замикання в електричних мережах, машинах і апаратах, струмові перевантаження, перегрів місць з'єднання струмопровідних частин через великі перехідних опорів, електрична дуга і іскріння, займання горючих матеріалів, що знаходяться біля електроприймачів, залишені без нагляду тощо[22].

Горючими в електроустановках є: ізоляційні масла в вимикачах і трансформаторах, ізоляційна гума пластмаси, лаки, паперова і поліетеленовая ізоляція кабелів, водень, застосовуваний для охолодження генераторів і синхронних конденсаторів виділяється при заряді акумуляторних батарей.

Електропроводка не в змозі віддати теплоту в навколишнє середовище, відбувається її займання, перевантаження і короткі замикання, неприпустимі в будь-яких випадках. Для їх запобігання необхідно, щоб конструктивні параметри відповідали електричними параметрами.

Слід строго дотримуватися періодичність і якість в оглядах, ремонтах, випробуваннях електроустаткування. Не менш небезпечні перегриви в місцях великих перехідних опорів через погані контактів і з'єднань. Щоб перегриви не відбувалися, необхідно ретельно захищати контакти, застосовувати заводські наконечники і накінечники проводів, забезпечувати щільне прилягання контактів.

В процесі експлуатації необхідно стежити за рівномірним навантаженням по фазах однофазних електроприймачів - освітлення, електронагрівальних приладів. Слід пам'ятати, що при наявності однофазних

електроприймачів по робочому нульового проводу протікає струм, величина якого може досягати величини фазного струму. Тому перетин нульового проводу в освітлювальних установках з газорозрядними лампами повинно бути рівним перетину фазних проводів.

Усі електроустановки повинні бути захищені від струмів короткого замикання та інших ненормальних режимів, що можуть призвести до пожежі (автоматичні вимикачі, запобіжники, пристрої від перенапруг).

Газо-пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні - вибухонебезпечні зони-класів 20,21,22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 - простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу, з може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 - простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна робота - ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 - простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Вибухонебезпечна зона класу 20 - простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини.

Вибухонебезпечна зона класу 21 - простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Вибухонебезпечна зона класу 22 - простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в

якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Класифікація пожежонебезпечних зон:

Клас П-I — зони приміщень, в котрих застосовуються або зберігаються горючі рідини з температурою спалаху вище 61 °С.

Клас П-II — зони приміщень, де виділяється горючий пил або волокна з нижньою концентраційною межею поширення полум'я понад 65 г/м³ об'єму повітря, або вибухонебезпечного пилу, вміст котрого в повітрі приміщень не досягає вибухонебезпечних концентрацій.

Клас П-IIIa — зони приміщень, в котрих є тверді або волокнисті горючі речовини. Горючий пил і волокна не виділяються.

Клас П-IIIb — зовнішні установки, де застосовуються або зберігаються горючі рідини з температурою спалаху пари понад 61 °С, а також тверді горючі речовини.

Гасіння пожеж електрообладнання. Біля електрообладнання повинні бути первинні засоби пожежогасіння. Передбачають застосування первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники ВВП-5, ВВП-10, ВВ-2,5, пересувні ВВ-80, ВВ-400, ВП-2А, ВП-1В).

Для забезпечення мобільного розгортання пожежних підрозділів підходи до електрообладнання і під'їзди до електромашинним приміщень і підстанцій не повинні бути огорожені.

Застосування пінних вогнегасників допускається тільки на відключеному устаткуванні.

При пожежі трансформатора його відключають з усіх боків, після чого гасять розпорошеною водою і вогнегасниками.

При пожежі на пультах і щитах управління знімають з них напругу і гасять вуглекислотними вогнегасниками, піском.

При пожежі в кабельних каналах знімають напругу і гасять компактною струменем води. У початковій стадії місце горіння можна засипати піском.

Необхідно вживати заходів щодо ізоляції осередку, в якому сталося загоряння, від суміжних приміщень. Вентиляцію слід відключити.

Потрібно пам'ятати, що багато полімерні матеріали, які використовуються для ізоляції і захисних покриттів кабелів, а також пластмаси при горінні виділяють отруйні речовини, що володіють задушливим дією, руйнівню діють на легені, кров та нервову систему.

Окремо розглянемо виникнення пожежі в трансформаторі. У разі аварії на трансформаторі (реакторі) з виникненням пожежі його слід вимкнути з мережі з усіх сторін і заземлити.

Після зняття напруги гасіння пожежі проводиться будь-якими засобами пожежогасіння (розпиленою водою, повітряно-механічною піною, вогнегасниками).

У разі внутрішнього пошкодження трансформатора (реактора) з викидом масла через вихлопну трубу або через нижній роз'єм (зріз болтів і деформація фланця роз'єму) і виникнення пожежі всередині трансформатора (реактора) вводяться засоби гасіння пожежі всередину трансформатора (реактора) через верхні люки, горловину вихлопної труби і через деформований роз'єм.

У разі виникнення пожежі в трансформаторі (реакторі) зливати масло з трансформатора (реактора) забороняється, оскільки це може призвести до пошкодження внутрішніх обмоток і ускладнення подальшого гасіння.

У випадку пожежі у трансформаторі, встановленому в закритому приміщенні (камері), і ЗРП необхідно вжити заходів щодо запобігання поширенню пожежі через отвори, канали, вентиляційну систему тощо.

Під час розвиненої пожежі у трансформаторі необхідно захищати водяними струменями від дії високої температури металеві опори, портали, сусідні трансформатори та інше обладнання, при цьому в зоні водяних струменів з ближнього обладнання і розподільних пристроїв необхідно зняти високу напругу й здійснити заземлення.

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті бакалавра розглянуто актуальне питання підвищення надійності електропостачання шляхом оновлення трансформаторів та комутаційної апаратури підстанції «Західна» .

Було виконано технічне оцінювання ГПП «Західна» наявного електричного обладнання та його стан. Зроблено наступний висновок – загалом на ГПП «Західна» обладнання використовується зношене, трансформатори та інше високовольтне обладнання вже відпрацювали свій робочий ресурс більше ніж у два рази.

Було визнано, що замінювати схему електропостачання головної понижуючої підстанції «Західна» не є можливим.

Вибране нове силове обладнання розподільних пристроїв підстанції як з високого так і низкого боку.

З високого боку рекомендується встановити:

- Трансформатор ТДНС-16000 35/6 силовий, трифазний, двообмотковий, з природною циркуляцією масла та примусовою циркуляцією повітря, із регулюванням напруги під навантаженням (РПН), з діапазоном регулювання $\pm 8 \times 1,5\%$ з боку ВН. Автоматичне управління здійснюється від автоматичного контролера, що поставляється разом із трансформатором. Призначений для роботи в електричних мережах власних потреб електростанції.
- Вакуумний відмикач рівненської компанії «РЗВА» типу ВР 35НС.
- Трансформатор напруги НАМИ-35 УХЛ1 виробництва ТОВ ЕЛІЗ.
- Трансформатори струму серії ТФЗМ виробництва ТОВ ЕЛІЗ.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		70

- Роз'єднувачі серії РД(З) 35 кВ виробництва компанії «РЗВА».

З низького боку рекомендується встановити:

Трансформатор власних потреб ТМГ – 1000 кВА на напругу 6 кВ.

Вимірювальні трансформатори напруги компанії АВВ ТІС 4.

Вимірювальні трансформатори струму компанії АВВ ТТН65.1.

Вакуумний відмикачі типу ВР2 компанії «РЗВА».

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		71

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Межений С. Я. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016–2025 роки/ Межений С.Я. //Электрические сети и системы, №4-5, - 2016. – с. 4-8.

2. Electricity generation in the world and Ukraine: Current status and future developments. Alexander Zvorykin, Igor Pioro, Nataliia Fialko Mechanics and Advanced Technologies №2 (80). 2017

3. План розвитку Об'єднаної енергетичної системи України на 2016-2025 роки затвердженого наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 29.09.2014 № 680. -91с.

4. ГКД 34.46.501-2003 ТРАНСФОРМАТОРИ СИЛОВІ Типова інструкція з експлуатації Київ Об'єднання енергетичних підприємств „Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики” 2003 80 с.

5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / [Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В.]; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

6. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. – Х.: Вид-во «Форт», 2014. – 736с.

7. Шкрабець Ф. П. Електропостачання : [навч. посібник] / Ф. П. Шкрабець. Держ. вищий навч. закл. "Нац. гірничий ун-т". Ін-т електроенергетики.– Дніпропетровськ : НГУ, 2015.– 539 с.

8. Василега П.О. Електропостачання: [навчальний посібник] / П.О. Василега. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2008. – 415 с.

9. Сухий трансформатор 16000. Режим доступу: [http:// tesar.com.ua /products/ dry _type_transformer_16000/](http://tesar.com.ua/products/dry_type_transformer_16000/)

10. ТОВ "ЕЛІЗ". Режим доступу: <http://ua.eliz.zp.ua>

										Лист
										72
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата	РБ.141.19за.002 ПЗ					

11. ДСТУ 2105-92 Трансформаторы силовые масляные общего назначения напряжением до 35 кВ включительно. Технические условия (ГОСТ 11920-93). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=73427

12. Каталог РЗВА. Режим доступу: <http://www.rzva.ua/modules/pages/files/katalog%20RZVA%202022%20UA.pdf>

13. ТЈС 7 АВВ. Режим доступу: <https://forca.ru/spravka/tt-i-tn/tjc-7-abb.html>

14. Вакуумні вимикачі 35 кВ. ВР35. Режим доступу: <http://www.vsoyuz.com/ru/produkcija/cb/vakuumnye-vyklyuchateli-35-kv/vr35.htm>

15. Трансформатор напруги ТЈС 4 АВВ. Режим доступу: <https://new.abb.com/medium-voltage/ru/apparaty/izmerit-transf-i-datchiki/produkty/transf-napryazh-vnutr-ustan/odnopolus-transf-tjc11>.

16. TTR 65.22 Номенклатурный каталог. Режим доступу: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000505&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

17. Трансформатори ТМГ 630...1600 технічні характеристики Режим доступу: <https://uea.com.ua/products/tmg-630-1600/>

18. Технический справочник: кабели, провода и материалы для кабельной индустрии, 3 изд. НПП НКР Элипс, 2006. – 360 с.

19. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств : [підручн.] / В. І. Мілих, Т. П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

20. Інструкція з проектування електромереж 110–0,38 кВ / Київ: Міненерго 2002. – 44 с. [електронний ресурс] / Режим доступу: http://bib.convdocs.org/v22626/%D0%B3%D0%BD%D0%B4_341.004.003.001-2002_%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%B7_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%

21. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00–1.21–98. – Київ: Державний комітет України по нагляду за охороною праці, 1998. – 91 с.

22. Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України. НАПБ В.01.034-2005/111. – Київ: Затверджені наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 26 вересня 2018 року N 491. – 90 с.

					РБ.141.19за.002 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		74

