

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І.Толочко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 11 ” червня 2020 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії)
на тему: Захист трансформаторів підстанції 110 кВ

Виконав: студент IV курсу, групи ЕК-зг61-01
(шифр групи)

_____ Тесля Дмитро Германович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник: _____ ст. викладач Хлистов В.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) О.І.Толочко
(ініціали, прізвище)
“ 11 ” червня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Теслі Дмитру Германовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Захист трансформаторів підстанції 110 кВ

керівник проекту: Хлистов Валерій Михайлович ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» квітня 2020 р. № 1050-с

2. Термін подання студентом проекту: 11.06.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту: Схема електричних з'єднань підстанції 110/10 кВ, нормативні та керівні вказівки з релейного захисту, каталоги та керівництва цифрових пристроїв релейного захисту (наприклад, Шнейдер Електрик)

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Технічні характеристики обладнання та режимів роботи ПС 110 кВ. 2. Розрахунок струмів к.з. 3. Вибір основних та резервних захистів трансформатора і розрахунок уставок спрацювання. 4. Технічні характеристики цифрових пристроїв захисту і схемна реалізація захистів.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): _____

1. Однолінійна схема ПС 110/10 кВ.

2. Схемна реалізація захистів трансформатора.

3. Схема підключення пристроїв захисту, алгоритм та характеристика диференційного захисту. _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

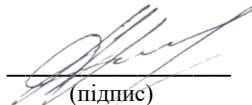
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Збір інформації про види та засоби релейного захисту трансформаторів	01.03.2020р.	
2.	Опис характеристик обладнання ПС, розрахунок струмів к.з.	15.03.2020р.	
3.	Вибір цифрових пристроїв захисту та розрахунок уставок спрацювання	15.04.2020р.	
4.	Технічні характеристики цифрових пристроїв захисту	15.05.2020р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	11.06.2020р.	

Студент


(підпис)

Д.Г. Тесля
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

В.М. Хлистов
(ініціали, прізвище)

*Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.6111.02.ДБ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	141.6111.02.ТК1	Головна схема електричних з'єднань підстанції 110/10 кВ	1	
4	A1	141.6111.02.ТК2	Схеми релейного захисту силового трансформатора	1	
5	A1	141.6111.02.ТК3	Схема підключення, функціональна схема, схема контролю ланцюгів ТС та гальмівна характеристика Sepam 80	1	

					141.6111.02.ДБ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Тесля Д.Г.			Відомість дипломного проекту				Літ.		Лист	Листів
Перевірив		Хлистов В.М.									3	1
									КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-зг61-01			
Н. контр.		Настенко Д.В.										
Затвердив		Толочко О.І.										

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему:
Захист трансформаторів підстанції 110 кВ

Київ – 2020 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 69 аркушах та містить 15 рисунків, 18 таблиць та 39 літературних посилань. Графічний матеріал - 3 листи, бібліографія - 12 найменувань.

Актуальність теми – Впровадження сучасних цифрових пристроїв релейного захисту та автоматики.

Мета дослідження – Розробка та розрахунок релейного захисту силових трансформаторів підстанції 110/10 кВ.

Об'єкт дослідження – Головне обладнання, релейний захист та автоматика підстанції 110/10 кВ, зокрема диференційний захист силових трансформаторів Sepam 87T «Schneider Electric».

Предмет дослідження – моделювання та розрахунок основних та резервних захистів трансформаторів 10 МВА 110/10 кВ, зокрема диференційного, максимального струмового, дугового, газового та захистів від перевантаження та замикання на землю.

Результати роботи – Успішно розроблено схему електричних з'єднань підстанції 110/10 кВ, змодельовано релейний захист силового трансформатора 10 МВА 110/10 кВ, розраховано уставки спрацювання цифрового диференційного захисту трансформаторів Sepam 87T «Schneider Electric».

Ключові слова: РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА, SEPAM 87T «SCHNEIDER ELECTRIC», ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА, ГАЛЬМІВНА ХАРАКТЕРИСТИКА SEPAM.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The diploma project is made on 69 sheets and contains 15 figures, 18 tables and 39 references. Graphic material - 3 letters, bibliography - 12 items.

Relevance of the topic – Introduction of modern digital devices of relay protection and automation.

The aim – Development and calculation of relay protection of power transformers of 110/10 kV substation.

Object of study – main equipment, relay protection and automation of the 110/10 kV substation, in particular the differential protection of power transformers Sepam 87T "Schneider Electric".

Subject of research – modeling and calculation of main and reserve protections of 10 MVA 110/10 kV transformers, in particular differential, maximum current, arc, gas and overload and earth fault protection.

The Results of the work – The scheme of electrical connections of the 110/10 kV substation was successfully developed, the relay protection of the 10 MVA 110/10 kV power transformer was modeled, the settings of operation of the digital differential protection of Sepam 87T "Schneider Electric" transformers were calculated.

Key words: RELAY PROTECTION AND AUTOMATION, SEPAM 87T «SCHNEIDER ELECTRIC», DIFFERENTIAL PROTECTION OF POWER TRANSFORMER, BRAKE CHARACTERISTICS OF SEPAM.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ПІДСТАНЦІЇ КЛАСУ	
110/10 кВ.....	11
1.1 Вибір основних елементів схеми, їх технічні характеристики та режими роботи підстанції.....	11
1.2 Розрахунок струмів короткого замикання для вибору параметрів спрацювання релейного захисту силового трансформатора.....	17
1.3 Вибір та перевірка параметрів трансформаторів струму для пристроїв релейного захисту силового трансформатора.....	21
Висновки	27
2. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА	
10 МВА 110/10 кВ	28
2.1 Пошкодження та ненормальні режими роботи трансформаторів. Вимоги до захисту.....	28
2.2 Призначення та вибір основних та резервних захистів трансформатора.....	32
2.3 Розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту трансформатора	34
2.4 Розрахунок максимального струмового захисту з пуском по напрузі	40
2.5 Захист від перевантаження.....	43
2.6 Захист від замикання на землю.....	44
2.7 Дуговий захист.....	49
2.8 Газовий захист.....	51
Висновки	53
3. ПОБУДОВА ТА КОНСТРУКЦІЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ	
ТРАНСФОРМАТОРА (SERAM «SCHNEIDER ELECTRIC»).....	54
3.1 Характеристики пристрою Seram серії 80.....	54

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

3.2 Алгоритм роботи захистів.....	62
3.3 Контроль ланцюгів трансформаторів струму та напруги	63
3.4 Реєстр аварійних подій (осцилографіювання).....	66
Висновки	67
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Споживання енергії є обов'язковою умовою існування людства. Наявність доступної для споживання енергії завжди було необхідним для задоволення потреб людини, збільшення тривалості та поліпшення умов її життя.

Історія цивілізації - це історія винаходу все нових і нових методів перетворення енергії, освоєння її нових джерел і в кінцевому підсумку збільшення енергоспоживання.

Але поруч з усіма вигодами, при невмілому використанні, електроенергія представляє для людини велику небезпеку. Тому на протязі усього розвитку електроенергетики, розвивається і особлива галузь електротехніки, призначена для захисту людей і обладнання від ураження електричним струмом. Основними захисними пристроями є реле, тому галузь традиційно називається «релейним захистом».

Релейний захист здійснює безперервний контроль стану всіх елементів енергосистеми шляхом відслідковування та реакції на ненормальні режими роботи та ушкодження ізоляції. Велика кількість реле використовується в електроустановках середньої напруги, в розподільчих електричних мережах від 6 до 110 кВ, які є важливою ланкою в системі виробництва, передачі і розподілу електричної енергії і в яких відбувається основна маса порушень електропостачання.

Правильне налаштування релейного захисту та протиаварійної автоматики, правильний вибір робочих параметрів спрацювання РЗА грає відповідальну роль в забезпеченні надійної роботи електричних мереж. У зв'язку з розвитком електричних систем, що характеризується, в основному, зростанням одиничних потужностей агрегатів і блоків, підвищенням напруги і пропускної спроможності ліній електропередачі, а також інтенсифікацією використання обладнання необхідно вирішити ряд проблем, обумовлених підвищенням і ускладненням вимог до технічної досконалості і надійності функціонування пристроїв релейного захисту та

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматики. Тому, останнім часом великого поширення набули мікропроцесорні пристрої релейного захисту. Так, на багатьох підстанціях електроенергетичної системи України, внаслідок реконструкції, електромеханічні реле були замінені на мікропроцесорні.

Перехід до нових пристроїв не призводить до зміни принципів електроавтоматики і релейного захисту, а лише розширює їх функціональні можливості, знижує вартість і спрощує експлуатацію. Саме тому мікропроцесорні реле швидко займають місце застарілих мікроелектронних і електромеханічних.

У розвинених країнах цифрові пристрої релейного захисту та автоматики широко почали застосовуватися в останні роки минулого століття. Сучасні цифрові реле різних виробників мають багато спільного, а їх характеристики дуже близькі оскільки багато технічних рішень з того часу стали типовими.

Лідерами у виробництві РЗА є європейські концерни Schneider Electric, ABB, Siemens, Alstom, SEL. Кожен з них прямує власним шляхом вдосконалення РЗА, однак перехід на цифрову техніку є загальним.

Сучасні цифрові пристрої РЗА, інтегровані в АСУТП, є кінцевими пристроями збору інформації. В інтегрованих цифрових комплексах РЗА з'являється можливість переходу до нових нетрадиційних вимірювальних перетворювачів струму і напруги - на основі оптоелектронних датчиків, трансформаторів без феромагнітних сердечників і т.д. Ці перетворювачі більш технологічні при виробництві, мають дуже високі метрологічні характеристики, але мають низьку вихідну потужність і непридатні для роботи з традиційною апаратурою. Тим не менш, незважаючи на ряд утруднень при впровадженні цифрових пристроїв, вони займають все більшу частку на ринку РЗА.

В бакалаврській роботі розроблено схему реалізації захисту силового трансформатора та запропоновано модернізацію РЗА за допомогою сучасних мікропроцесорних пристроїв захисту.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ПІДСТАНЦІЇ

КЛАСУ 110/10 кВ

1.1. Вибір основних елементів схеми, їх технічні характеристики та режими роботи підстанції

В дипломній роботі за основу взято проект понижувальної підстанції класів напруги 110/10 кВ.

Низька сторона складається з двох секцій, з'єднаних секційним вимикачем ВВ/TEL-10-12.5/630.

Таблиця 1.1 - Характеристики вимикача ВВ/TEL-10

Характеристики	ВВ/TEL-10-12.5/630
Номінальний струм (А)	630
Номінальна напруга (кВ)	10
Номінальний струм вимкнення (кА)	12.5
Струм електродинамічної стійкості (А)	32
Випробувальна короткочасна напруга промислової частоти (однохвилинна) (кВ)	42
Власний час вимкнення (мс), не більше	15
Повний час вимкнення (мс), не більше	25
Власний час включення (мс), не більше	55

Для виміру струмів на секційному вимикачі розміщені трансформатори струму ТОЛУ-10-800/5.

За нормальних умов секційний вимикач перебуває у розімкнутому стані. При виникненні аварійної ситуації, виході з ладу однієї секції живлячої лінії, секційний вимикач замикається і живлення обох секцій 10кВ здійснюється від однієї справної секції 110кВ.

					141.6111.02.ДБ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Схема електричних з'єднань підстанції класу 110/10 кВ					Літ.	Лист	Листів		
Розробив	Тесля Д.Г.											11	17	
Перевірив	Хлистов В.М.									КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-зг61-01				
Н. контр.	Настенко Д.В.													
Затвердив	Толочко О.І.													

Подача електроенергії від лінії 110кВ, виконаної проводом типу АС-185/29, на лінію 10кВ відбувається через трифазні силові трансформатори.

Перша секція живиться за допомогою стаціонарного силового масляного трифазного двохобмоткового трансформатора загального призначення з регулюванням напруги під навантаженням, з примусовою циркуляцією повітря і природною циркуляцією масла Т-1 типу ТДН-10000/110.

Схема з'єднань обмоток трансформатора – зірка з ізольованою нейтраллю/трикутник. До нейтралі зірки (110кВ), для захисту від атмосферних перенапруг ізоляції, під'єднано вентильний розрядник типу РВС-110.

На кожній фазі високої сторони трансформатора розміщені вимірювальні трансформатори струму ТФЗМ-110Б-600/5, безмасляний вакуумний вимикач ВРС-110 і шинний роз'єднувач РДЗ-110/1000.

Живлення на першу секцію лінії 10кВ подається через трансформатори струму ТОЛУ-10-800/5, вимикач типу ВРС-10 і шинний роз'єднувач типу РВ-10/630 із приводом ППК-63 з низької сторони трансформатора.

Таблиця 1.2 - Характеристики трансформаторів струму

Характеристики	ТФЗМ-110Б-600/5	ТОЛУ-10-800/5
Номінальна напруга, кВ	110	10
Номінальний первинний струм, А	600	800
Номінальний вторинний струм, А	5000	5000
Струм термічної стійкості, кА	26	36
Струм електродинамічної стійкості, кА	126	180
Номінальний клас точності	0,5	0,5

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.3 - Характеристики вакуумних вимикачів

Характеристики	ВРС-110	ВРС-10
Номінальна напруга, кВ	110	10
Номінальний струм, А	2500	1000
Номінальний струм вимкнення, кА	31,5	31,5
Струм електродинамічної стійкості, А	81	80
Власний час вимкнення, мс, не більше	45	0,035-0,05
Повний час вимкнення, мс, не більше	65	0,065
Власний час включення, мс, не більше	80	0,09
Механічний ресурс, циклів ВО	10000	30 000

Друга секція живиться за допомогою аналогічного трифазного масляного двухобмоткового силового трансформатора Т-2 типу ТДН-10000/110.

Схема з'єднань обмоток трансформатора – зірка з ізолюваною нейтраллю/трикутник. До нейтралі зірки (110кВ), для захисту від атмосферних перенапруг ізоляції електрообладнання, під'єднано вентильний розрядник ВРС-110.

Пристрої РПН (регулювання під напругою) дозволяють змінювати коефіцієнт трансформації ступенями в межах $\pm 16\%$ номінальної напруги не вимикаючи навантаження.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.4 - Характеристики силових трансформаторів

Позначення		Т-1	Т-2
Тип трансформатору		ТДН-10000/110	ТДН-10000/110
Номінальна потужність, МВА		10	10
Номінальна напруга, кВ	ВН	115	115
	НН	10,5	10,5
Струм холостого ходу, %		0,55	0,55
Напруга короткого замикання U_k , %		10,5	10,5
Група з'єднання обмоток		Y/Δ-0-11	Y/Δ-0-11
РПН		$\pm 9 \times 1,78 \%$	$\pm 9 \times 1,78 \%$

Для забезпечення живлення власних потреб підстанції, від лінії 10кВ першої секції послідовно підключене наступне обладнання:

- Вакуумний вимикач ВРС6-40;
- Вимірювальні трансформатори струму ТПЛМ-10/100 на крайніх фазах;
- Силовий масляний двухобмотковий трифазний трансформатор ТВП-1 типу ТМ 630-10/0,4;

З'єднання вказаного обладнання виконано за допомогою кабелів АСБ-10-3*70.

Схема з'єднання обмоток трансформатора власних потреб: зірка/трикутник.

Аналогічно для забезпечення живлення власних потреб підстанції від другої секції 10кВ послідовно підключене наступне обладнання:

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вакуумний вимикач типу ВРС6-40;
- Вимірювальні трансформатори струму типу ТПЛМ-10/100 на крайніх фазах;
- Силовий масляний двухобмотковий трифазний трансформатор ТВП-2 типу ТМ 630-10/0,23, схема з'єднання обмоток - зірка/трикутник.

З'єднання вказаного обладнання виконано за допомогою кабелів АСБ-10-3*70.

На кожен секцію встановлено масляний вимірювальний трансформатор напруги НТМИ-10, вентильний розрядник РВП-10, триполюсний роз'єднувач РВ-10/630 та плавкий запобіжник.

Таблиця 1.5 - Характеристики трансформаторів напруги

Характеристики	НТМИ-10
Номинальна первинна напруга, кВ	10
Номинальна напруга основної вторинної обмотки, В	100
Номинальна вторинна напруга додаткової вторинної обмотки, В	$100/\sqrt{3}$
Основний вторинний клас точності	0,5
Основна вторинна номінальна потужність (у класі точності 0,5), ВА	300
Гранична потужність обмоток, ВА	1000

Від кожної секції 10 кВ відходять лінії з встановленим обладнанням: вакуумний вимикач типу ВРС6-40; прохідний вимірювальний трансформатор струму ТПЛМ-10/300/5; лінійний триполюсний роз'єднувач РВ-10/600;

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Вибір кількості й потужності трансформаторів зв'язку на підстанції

При визначенні загального навантаження підстанції слід враховувати коефіцієнт сполучення максимумів навантаження. Вибір потужності трансформаторів виконується виходячи з розрахунку сумарного навантаження за умовами нормального і післяаварійного режимів:

$$2S_{\text{тр}} \geq S_p$$

де: $S_{\text{тр}}$ - установлена потужність трансформаторів;

S_p - навантаження на шинах нижньої напруги.

Для забезпечення безперебійного живлення споживачів, на підстанції прийнято до встановлення два однотипні силові трансформатори. Потужності трансформаторів обираються виходячи зі здатності, при вимкненні одного з них, передавати задану потужність без порушень вимог ПУЕ, описаних у п.2.2.3, до своєї перевантажувальної здатності. [1]

При вимкненні одного із трансформаторів, надлишок навантаження повинен взяти на себе другий трансформатор з урахуванням власної перевантажувальної здатності:

$$K_{\text{пер}} = 1,4$$

$$S_{\text{тр}} > S_n / 1,4 \quad \text{де}$$

$$S_n = K_o \cdot S_n$$

$K_o = 0,8$ – коеф. сполучення максимумів навантажень; [4]

S_n - прийняте навантаження на шинах НН з врахуванням K_o .

S_n - повне максимальне навантаження на шинах НН;

Розрахункове навантаження: $P=9 \text{ МВт}$, $\cos\varphi=0.85$;

Отже: $Q=P \times \tan\varphi=9 \times 0.484=4.356 \text{ МВАр}$

$$S_n = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{(9^2 + 4.356^2)} = \sqrt{99.97} = 9.9 \text{ МВА}$$

$$S_n = 0,8 \times 9.9 = 7.92 \text{ МВА}$$

У зв'язку з можливим подальшим розвитком мережі, ухвалено рішення встановити на підстанції два трансформатори ТДН -10000/110 .

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Правила улаштування електроустановок дозволяють післяаварійне перевантаження трансформаторів до 40% у післяаварійному режимі роботи на час не більше 6 годин на добу протягом 5 діб, тобто повинна виконуватись умова:

$$S_T > 0,7S_{\max}$$

Навантаження на шинах підстанції напругою 10 кВ:

$$S_H = 7.92 \text{ МВА}$$

$$0,7S_{\max} = 0,7 \times 7.92 = 5.544 \text{ МВА},$$

що відповідає паспортним даним заявлених трансформаторів.

1.1. Розрахунок струмів короткого замикання для вибору параметрів спрацювання релейного захисту силового трансформатора

Виконаємо розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції 110/10 кВ. Для цього складено розрахункову спрощену однолінійну схему, у якій указані усі елементи та їх параметри, які впливають на величину струму короткого замикання і будуть враховані при розрахунках.

У схему входять два силові трансформатори ТДН-10000/110 і силовий трансформатор ТМН-6300/10. За паспортами виробів визначимо технічні характеристики.

Таблиця 1.6 - Характеристики силових трансформаторів

Тип трансформ.	$S_H, \text{МВА}$	$U_{вн}, \text{кВ}$	$U_{нн}, \text{кВ}$	$U_k, \%$	$\Delta P_{кз}, \text{кВт}$	$\Delta P_{хх}, \text{кВт}$	$I_{хх}, \%$
ТДН-10000/110	10	115	10,5	10,5	58	14	0,55
ТМН-6300/10	6,3	10,5	6,3	8,0	46,5	8	0,8

Опорами шин РП, електричних апаратів (трансформаторів струму, роз'єднувачів, вимикачів й т.п.), кабелів малої довжини через їх малу величину в порівнянні з опорами трансформаторів можна знехтувати, тому їх параметри на схемі не вказано.

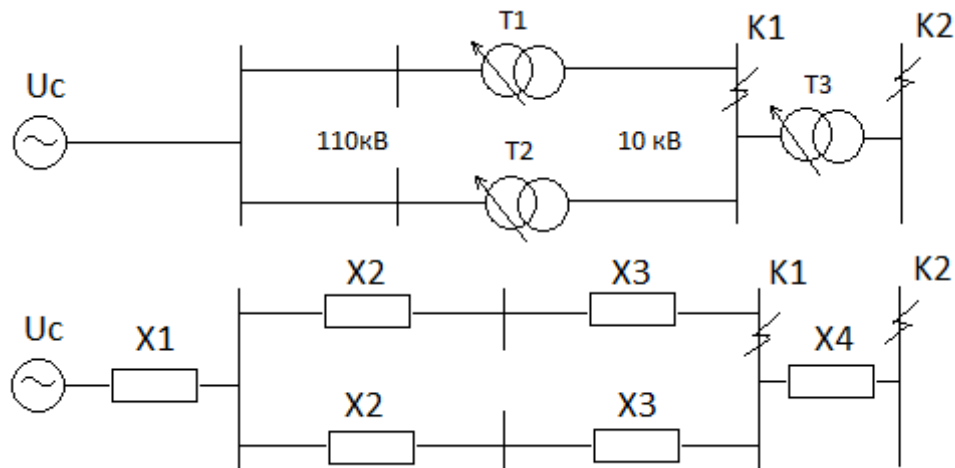


Рисунок.1.1 - Спрощена розрахункова схема та схема заміщення підстанції.

Параметри елементів електричної мережі:

$$S_c = 1600 \text{ MVA}$$

$$X_{c*} = 2$$

Приймаємо повітряну лінію: Двухцепну ПЛ провід АС-185/29
(згідно до ПУЕ табл.2.5.16) [1]

$$\text{Довжина лінії } L = 10 \text{ км}$$

Силові трифазні трансформатори:

$$T1: \text{ТДН-10000/110}$$

$$T2: \text{ТДН-10000/110}$$

$$T3: \text{ТМН-6300/10}$$

Обрано базисні величини:

$$S_6 = 400 \text{ MVA}$$

$$U_6 = 10 \text{ кВ}$$

Базисний струм:

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,094 \text{ кА}$$

Визначення опорів схеми заміщення:

Опір системи, приведений до базисного навантаження:

$$x_1 = x_c \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 2 \cdot \frac{400}{13225} = 0,06$$

Опір лінії приведений до базисного навантаження:

$$x_2 = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 10 \cdot \frac{400}{115^2} = 0,12$$

Опір трансформаторів:

$$x_3 = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{тр}} = \frac{10,8}{100} \cdot \frac{400}{10} = 4,32$$

$$x_4 = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{тр}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{400}{6,3} = 5,07$$

Струм КЗ в точці К2:

Сумарний опір:

$$x_{\Sigma 2} = x_1 + \frac{x_2 + x_3}{2} + x_4 = 0,06 + \frac{0,12 + 4,32}{2} + 5,07 = 7,35$$

$$x_{\Sigma 1} = x_1 + \frac{x_2 + x_3}{2} = 0,06 + \frac{0,12 + 4,32}{2} = 2,28$$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ у точці К2 для максимального режиму роботи підстанції:

$$I_{k2} = \frac{U \cdot c}{x_{\Sigma 2}} \cdot I_6$$

$$U \cdot c = \frac{U_6}{U_c} = \frac{10}{10} = 1$$

Отже:

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{k2} = \frac{U \cdot c}{x_{\Sigma 2}} \cdot I_6 = \frac{1}{7,35} \cdot 23,094 = 3,14 \text{ кА};$$

Ударний струм:

$$I_{уд2} = \sqrt{2} \cdot K_{уд2} \cdot I_{уд2}$$

$K_{уд2}$ – ударний коефіцієнт, відношення ударного струму до амплітуди періодичної складової. Для установок вище 1кВ дорівнює 1,8.

$$I_{уд2} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,14 = 7,993 \text{ кА}$$

Визначимо початкове значення періодичної складової струму КЗ у точці К1 для максимального режиму роботи підстанції за формулою:

$$I_{k1} = \frac{U \cdot c}{x_{\Sigma 1}} \cdot I_6$$

$$U \cdot c = \frac{U_6}{U_c} = \frac{10}{6,3} = 1,587$$

Тоді:

$$I_{k1} = \frac{U \cdot c}{x_{\Sigma 1}} \cdot I_6 = \frac{1,587}{2,69} \cdot 23,094 = 13,625 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot K_{уд1} \cdot I_{уд1}$$

$K_{уд1} = 1,8$.

$$I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot K_{уд1} \cdot I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 13,625 = 33,767 \text{ кА}$$

Струм в точці К1 при замиканні в точці К2:

$$I_{к1.2} = \frac{I_{к2}}{K_{тр}} = 3,14 \cdot \frac{6}{10} = 1,884 \text{ кА}$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{уд1.2} = \frac{I_{уд2}}{K_{тр}} = 7,993 \cdot \frac{6}{10} = 4.796 \text{ кА}$$

1.3 Вибір та перевірка параметрів трансформаторів струму для пристроїв релейного захисту силового трансформатора

Трансформатор струму призначений для перетворення значень струму до величин, придатних для роботи вимірювальних пристроїв та реле, а також для відокремлення ланцюгів вимірювання і захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

Трансформатори струму обираються по номінальному струму та напрузі встановлення та перевіряються на електродинамічну та термічну стійкість. Трансформатори струму, які використовуються для включення релейного захисту, також перевіряються на величину похибки, яка не повинна перевищувати 10% та 7° по куту. [2]

- Вибір по напрузі встановлення:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

- Вибір по номінальному струму:

$$I_{ном} \leq I_{1ном}, \quad I_{max} \leq I_{1ном}.$$

Значення номінального струму повинно бути близьким до значення робочого струму установки, оскільки недовантаження первинної обмотки призводить до збільшення похибок. [5]

- Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq k_{эд} \sqrt{2} I_{1ном},$$

i_y — ударний струм КЗ, розрахований вище;

$k_{эд}$ — кратність електродинамічної стійкості;

$I_{1ном}$ — номінальний первинний струм трансформатора.

Вимоги електродинамічної стійкості не розповсюджуються на шинні трансформатори струму, оскільки визначаються стійкістю самих шин

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розподільного пристрою. Тому перевіряти трансформатори за цією умовою немає необхідності.

- Перевірка на термічну стійкість:

Характеризує здатність трансформатора струму протистояти тепловій дії струму КЗ

$$B_k \leq (k_T I_{1\text{ном}})^2 t_T,$$

B_k — тепловий імпульс;

k_T — кратність термічної стійкості (за паспортом);

t — час термічної стійкості (за паспортом);

- Вибір по вторинному навантаженню:

Похибка трансформатора не повинна перевищувати допустиме значення для заданого класу точності. Тому:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}},$$

Z_2 — вторинне навантаження ТС;

$Z_{2\text{ном}}$ — номінальне допустиме навантаження (вказується у паспорті трансформатора)

Розглянемо більш детально вибір трансформаторів по вторинному навантаженню. Реактивний опір струмових ланцюгів незначний, тому приймаємо $Z_2 \approx r_2$. Вторинне навантаження r_2 розраховується як сума з:

сумарного опору приладів $r_{\text{приб}}$;

опору з'єднувальних проводів $r_{\text{пр}}$;

перехідного опору контактів r_k .

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_k.$$

Опір приладів визначаємо за виразом:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2},$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_{\text{приб}}$ — сумарна потужність, що споживається приладами;

I_2 — номінальний струм вторинної обмотки ТС.

Опір контактів приймається рівним 0,05 Ом для двох-трьох під'єднаних приладів та 0,1 Ом для числа приладів більше трьох. Опір з'єднувальних проводів залежить від їх перетину та довжини. Для роботи у заданому класі точності ТС, повинна виконуватись умова:

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}},$$

претворимо:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}$$

Знаючи опір проводів, можна визначити їх перетин:

$$q = \frac{\rho l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}},$$

ρ — питомий опір матеріалу проводу.

$l_{\text{расч}}$ — розрахункова довжина, залежить від схеми з'єднання трансформаторів струму (рис. 1.2).

ПУЕ п.3.4.3 говорить, що для вторинних ланцюгів електростанцій та підстанцій слід використовувати кабелі з напівтвердого алюмінію ($\rho = 0,0283$); Мідні проводи ($\rho = 0,0175$) використовуються для вторинних ланцюгів електростанцій з генераторами потужністю від 100 МВт та підстанцій з вищою напругою від 330 кВ. [1]

У якості з'єднувальних проводів застосовуються багатожильні контрольні кабелі з просоченою паперовою, поліетиленовою, пластиковою, гумовою, полівінілхлоридною ізоляцією у свинцевій, полівінілхлоридній, гумовій оболонці.

За умовою механічної міцності (ПУЕ п.3.4.4), мінімальний перетин контрольних проводів – 1,5мм² для міді та 2.5 мм² для алюмінію. [1]

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

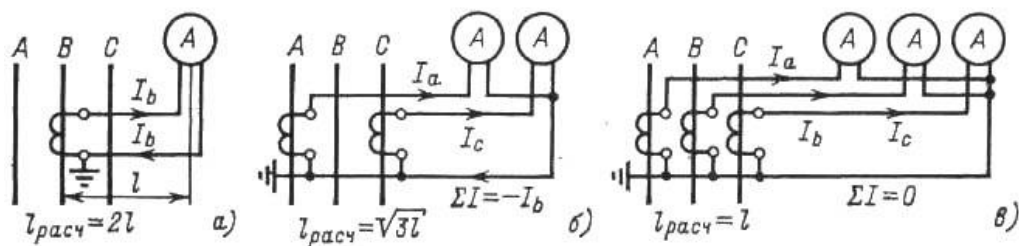


Рисунок 1.2 - Схеми з'єднання ТС та вимірювальних приладів.

а) -включення в одну фазу; б) - включення приладів у неповну зірку;
в) - включення приладів у повну зірку.

За завданням потрібно обрати трансформатори струму для забезпечення приєднання вимірювальних пристроїв у ланцюг введення трансформатора зв'язку, ввімкненого на збірні шини НН 10 кВ. Обрано трансформатори струму ТОЛУ-10/800/5.

Перевірка та співставлення розрахункових і паспортних даних наведена у таблиці 1.7. Значення струмів КЗ на шинах підстанції 10кВ приймаємо $I_k=1,884$ кА .

$$i_y = \sqrt{2} I_k K_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 1,884 \cdot 1,8 = 4.796 \text{ кА}$$

Таблиця 1.7 – Розрахункові та паспортні дані ТС ТОЛУ-10/800/5

Розрахункові дані	Паспортні дані
$U_{уст}=10,5$ кВ	$U_{ном}=10$ кВ
$i_{max} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 0.95} = 364 \text{ А}$	$I_{ном}=800$ А
$i_y = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot K_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 1,884 \cdot 1,8 = 4.796 \text{ кА}$	$i_y=52$ кА
$B_k = I_k^2 \cdot (t_{отк} + T_a) = 1,8 \cdot (4 + 0,185) = 13,56 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$(k_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t_T = (55 \cdot 5)^2 \cdot 1 = 75,625$

Для перевірки трансформатора струму по вторинному навантаженню, відповідно до схеми включення та паспортним даним приладів, визначимо навантаження по фазах для трансформатора струму ТС1 (таблиця 1.8).

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

З таблиці 1.8 зрозуміло, що більшому навантаженню піддаються трансформатори струму на фазах А та С.

Сумарний опір приладів:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{1,525}{25} = 0,0610 \text{ Ом}$$

Таблиця 1.8 - Вторинне навантаження ТС

		Ватметр	Варметр	Цифровий лічильник	Реле	Разом
Навантаження, ВА	Фаза А	0,5	0,5	0,5	0,025	1,525
	Фаза В	0	0	0	0	0
	Фаза С	0,5	0,5	0,5	0,025	1,525

Вторинне номінальне навантаження ТС для класу точності 0,5 дорівнює 0,4 Ом. Кількість приладів >3, тому приймаємо опір контактів рівний 0,1 Ом.

Розрахуємо опір проводки:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 0,4 - 0,061 - 0,1 = 0,2390 \text{ Ом}$$

Визначимо перетин з'єднувальних проводів, виходячи з того, що їх довжина становить 20 м, а матеріал жил – напівтвердий алюміній:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{приб}}} = \frac{0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 20}{0,16} = 6 \text{ мм}^2$$

Приймаємо до встановлення алюмінієвий контрольний кабель АКВВГ з ПВХ ізоляцією та полівінілхлоридною оболочкою із жилами перетином 6 мм².

Перевіримо обраний трансформатор струму на відповідність за кривими 10%-ої похибки. Для цього:

Визначимо вторинне фактичне навантаження трансформатора:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}}$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{1,525}{25} = 0,0610 \text{ Ом}$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{np} = \frac{L}{\gamma * S} = \frac{20}{34 * 6} 0,1 \text{ Ом}$$

$$r_k = 0,1 \text{ Ом}$$

Отже:

$$r_2 = 0,1 + 0,061 + 0,1 = 0,261 \text{ Ом}$$

Визначимо розрахунковий струм первинної обмотки, за яким будемо проводити перевірку на відповідність ТС:

$$I_{розр} = I_{max} = I_{k \text{ max}} = 4,719 \text{ кА}$$

Розрахункова похибка первинного струму:

$$m_{розр} = I_{розр} / 0,8 I_{ном} = 4719 / (0,8 * 800) = 7,37$$

Користуючись кривими 10%-ої похибки для даного типу трансформаторів, визначаємо допустиме навантаження на вторинну обмотку:

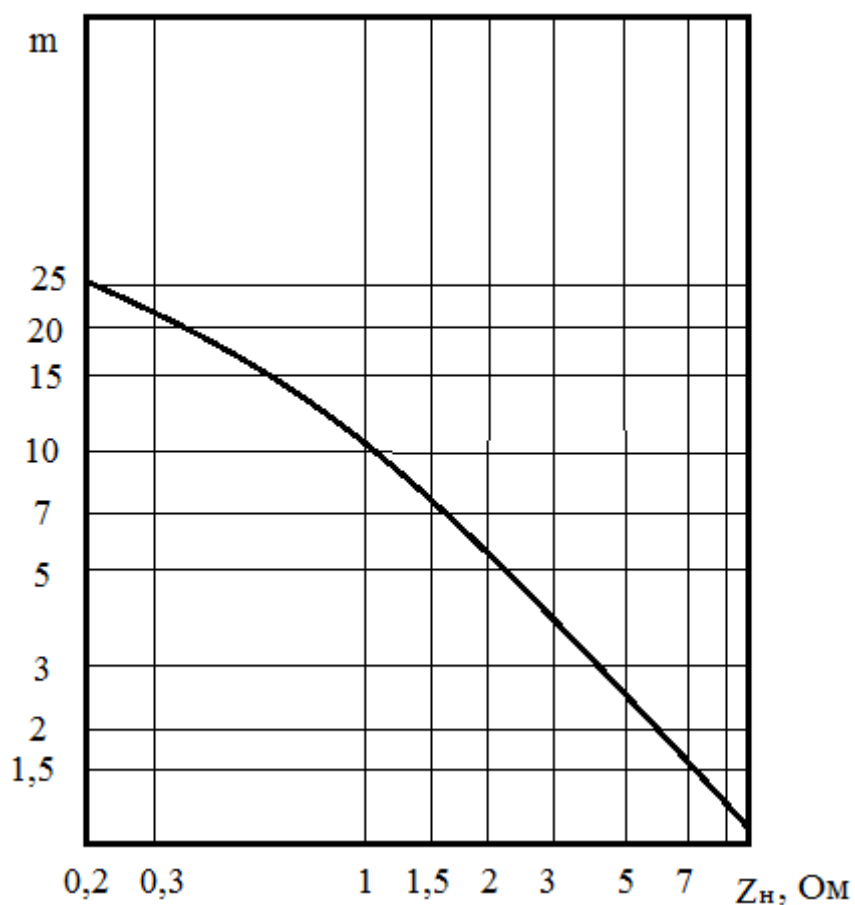


Рисунок 1.3 - Графік кривих 10%-ї похибки для трансформаторів струму типу ТОЛ-10. [3]

Отже, $Z_{н.доп}=1,5 \text{ Ом}$

Бачимо, що $r_2 < Z_{н.доп}$, отже, трансформатор струму ТОЛУ-10/800/5 задовольняє вимогам 10%-ї похибки.

Висновки

Перший розділ бакалаврської роботи присвячено вибору та перевірці основних елементів схеми електричних з'єднань підстанції 110/10 кВ.

Обрано трансформатори струму, проводи подачі живлення, вимикачі, шинні роз'єднувачі. Узгоджено встановлення секційного вимикача. Підключено обладнання для забезпечення власних потреб підстанції.

Розраховано необхідну кількість і потужність трансформаторів зв'язку, завдяки чому прийнято обґрунтоване рішення встановити два трансформатори типу ТДН-10000/110.

Зроблено розрахунок струмів короткого замикання, вибір та перевірку трансформаторів струму для релейного захисту трансформаторів.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 10 МВА 110/10 кВ

2.1. Пошкодження та ненормальні режими роботи трансформаторів.

Вимоги до захисту

До основних видів ушкоджень трансформаторів відносять: міжфазні к.з. між обмотками всередині корпуса або між зовнішніми виводами обмоток; однофазні к.з обмотки або її зовнішнього виводу на корпус трансформатора, тобто землю.

До ненормальних режимів відносяться:

- надтоки при перенавантаженні, наприклад, при вимкненні одного з паралельно працюючих трансформаторів. Величини струмів при перевантаженнях відносно невеликі, тому допускається перевантаження протягом деякого часу, відповідно до кратності струму перевантаження стосовно номінального;

-виникнення надструмів при зовнішніх КЗ, що представляють небезпеку через їх термічну і динамічну дію на обмотки трансформатора, оскільки вони можуть суттєво перевищувати номінальні значення. Для мінімізації пошкоджень, є необхідним негайне вимкнення трансформатору.

-зниження рівня масла нижче допустимого, яке викликане значним зниженням температури або протіканням. Сигналізатором зниження рівня є газовий захист.

-підвищення напруги (у випадку, коли трансформатор 110 кВ або вище має неповну ізоляцію обмотки зі сторони нейтралі ВН).

Згідно описаного вище, висувають певні вимоги до апаратів захисту:

					141.6111.02.ДБ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Релейний захист силового трансформатора 10МВА 110/10 кВ		
Розробив		Тесля Д.Г.					
Перевірив		Хлистов В.М.					
Н. контр.		Настенко Д.В.					
Затвердив		Толочко О.І.					
					Літ.	Лист	Листів
						28	26
					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-зг61-01		

Апарати захисту за своєю здатністю до вимкнення мають відповідати максимальному значенню струму КЗ на початку ділянки, що знаходиться під захистом.

Згідно положень ПУЕ, для трансформаторів повинні бути передбачені пристрої РЗА від наступних видів пошкоджень і ненормальних режимів роботи: [1]

1. міжфазних замикань на виводах та в обмотках;
2. однофазних КЗ на землю;
3. струмів в обмотках, обумовлених зовнішніми КЗ;
4. виткових замикань в обмотках;
5. струмів в обмотках, обумовлених перевантаженням;
6. критичного зниження показників рівня масла;
7. часткового пробоя ізоляції вводів напруги 500 кВ;
8. однофазних замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю напругою 6 - 35 кВ.

- У якості апаратів захисту використовуються автоматичні вимикачі та запобіжники. Допускається застосування пристроїв захисту з використанням виносних реле.

- Автоматичні вимикачі і пробкові запобіжники повинні приєднуватися до мережі таким чином, щоб при викрученій пробці гвинтова гільза запобіжника не залишалася під напругою. При односторонньому живленні, приєднання живлячого провідника (провода або кабелю) до апарату захисту повинне виконуватися, як правило, до нерухливих контактів (згідно ПУЕ 3.1.6). [1]

- Номінальні струми плавких запобіжників, а також струми уставок автоматичних вимикачів, що служать для захисту окремих ділянок мережі, в усіх випадках слід обирати якомога меншими за розрахункові струми цих ділянок або за номінальними струмами електроприймачів, але так, щоб

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

апарати захисту не вимикали електроустановки при короточасних перевантаженнях (струми при само запуску, пускові струми, піки технологічних навантажень і т.п.) (ПУЕ 3.1.4). [1]

Автоматичні вимикачі являють собою достатньо надійний засіб захисту від перевантажень й коротких замикань. Однак при деяких умовах, на ділянці, що під захистом, може виникнути струм, що перевищує вимикаючу здатність автомату. Це призводить не до розриву мережі, а навпаки - до залипання контактів. У такому випадку надструм завдасть руйнівного впливу на проводку та підключені пристрої. Плавкі вставки дають гарантоване вимкнення.

До релейного захисту, який діє на вимкнення, висуваються наступні вимоги: [3]

- 1) селективність;
- 2) швидкість вимкнення;
- 3) чутливість;
- 4) надійність.

1) Селективність (вибірковість). Селективною називається дія захисту, що забезпечує вимкнення лише ушкодженого елемента за допомогою його автоматичних вимикачів. Ця вимога дає можливість безперебійного й безперервного живлення споживачів. У випадку підключення єдиного споживача через одну лінію, споживач вимикається у випадку ушкодження на лінії і при селективній дії її захисту. Однак зняття з лінії напруги часто призводить до самоліквідації ушкоджень. Тому у таких випадках застосовується автоматичний пристрій повторного включення (АПВ), завдяки чому перебіг постачання напруги швидко відновлюється у 80% випадків. Важлива вимога до селективної дії - захист не повинен впливати на захисти і вимикачі суміжних ділянок.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Швидкість вимкнення. Найчастіше, до релейного захисту, діючого на вимкнення, пред'являється вимога швидкості дії.

Це визначається виходячи з наступних міркувань:

- Швидкість аварійного вимкнення підвищує стійкість паралельної роботи обладнання у системі. Швидкодіючі реле й вимикачі практично виключають можливість порушення динамічної стійкості синхронних машин, які працюють паралельно, внаслідок КЗ, таким чином усуваючи головну причину виникнення найважчих з погляду безперебійної роботи споживачів системних аварій.
- Швидкість вимкнення напряду впливає на масштаб пошкоджень аварійного елемента.
- Швидкість вимкнення ушкоджень впливає на ефективність використання пристроїв АПВ при ушкодженнях повітряних ліній. За умови використання достатньо швидкодіючого захисту, споживач практично не відчує перебою у енергопостачанні.

З наведеного вище стає зрозумілою важливість швидкодіючих РЗА у системах. Нажаль, релейний захист не завжди може одночасно задовольнити вимоги селективності й швидкості вимкнення ушкоджень. У такому випадку необхідно виявити пріоритетну вимогу стосовно безпечної безперебійної роботи споживачів.

Значення часу вимкнення складається з часу дії захисту й часу спрацювання вимикача.

3) Чутливість. Релейний захист мусить мати достатню чутливість до ушкоджень і ненормальних режимів роботи, що можуть виникати на елементах, що захищаються. У той же час захист не повинен спрацьовувати при нормальних режимах роботи, з урахуванням допусків.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Задоволення вимог чутливості в деяких випадках предстає достатньо складною задачею, наприклад, у випадках, коли струми короткого замикання близькі або навіть менші за максимальні струми навантаження (високовольтні лінії з великою пропускнуою здатністю). Встановлення більш складних дорогих пристроїв захисту вирішує цю проблему, але є доцільним лише у випадку, коли не погіршує показників селективності, швидкодії й надійності, а також економічний фактор.

Згідно ПУЕ п.3.2.20., оцінка чутливості захистів виконується за допомогою коефіцієнта чутливості, який при різних видах захисту має різні допустимі значення, але у всіх випадках більше 1. Для захистів, реагуючих на зростання, він визначається відношенням розрахункових величин КЗ в межах захисної зони до величини спрацювання захисту. Для максимальних струмових захистів трансформаторів найменший коефіцієнт чутливості може бути близько 1,5. [1]

4) Надійність. Захист мусить бути у постійній готовності до спрацювання у ненормальних ситуаціях й спрацьовувати лише за заданих умов. Важливу роль грають якість пристроїв захисту, правильність монтажу й введення в експлуатацію, простота виконання схем захисту. Спрощення схем часто відбувається за рахунок зменшення кількості реле, однак таке зменшення може вести й до ускладнення схеми, наприклад, у випадках, коли є можливість економії на складних спеціальних реле.

2.2 Призначення та вибір основних та резервних захистів трансформатора

Під час роботи трансформаторів можливі порушення нормальних режимів роботи, тому, згідно ПУЕ п.3.2.51, в обов'язковому порядку повинні бути встановлені наступні види захисту: [1]

1. **Захист від коротких замикань** призначений для мінімізації пошкоджень та забезпечення безперебійної роботи системи. Захист від КЗ

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діє без витримки часу на вимкнення трансформатора.

2. **Повздовжний диференціальний захист** використовують при виконанні захисту для компенсації нерівності струмів (за допомогою реле типу РНТ).

3. **Струмову відсічку без витримки часу**, що встановлюється, коли не передбачена установка повздовжнього дифзахисту, розглядати не будемо, оскільки використовується в основному на трансформаторах потужністю до 6МВА.

4. **Газовий захист** встановлюється на масляних трансформаторах і здійснюється за допомогою газових реле. Призначений для відстежування зниження рівня масла та виникнення внутрішніх пошкоджень. При незначному утворенні газу відбувається сигнал на пульт керування, при значному – вимкнення трансформатора) [3]

5. **Захист від надструмів при зовнішніх КЗ** є резервним захистом, призначений для вимкнення трансформатора від мережі при його ушкодженні і відмові основних захистів, а також при пошкодженнях суміжного обладнання та відмовах його захисту. Додатково виконує захист шин трансформатора від надструмів, при відсутності окремого захисту цих шин.

6. **Захист від перевантажень.** Перевантаження трансформаторів зазвичай буває симетричним, тому релейний захист виконується за допомогою максимального струмового реле, ввімкненого на струм однієї фази. Захист спрацьовує з витримкою часу, більшою витримок часу захистів від КЗ, в основному на сигнал. Струм спрацьовування РЗ від перевантаження обирається виходячи з умови повернення реле струму при номінальному струмі трансформатора. На підстанціях без чергового персоналу РЗ від перевантажень виконується триступенево: перша ступінь спрацьовує при незначних перевантаженнях та діє на сигнал на пункт управління; друга - при великих перевантаженнях діє на вимкнення частини споживачів, розвантажуючи трансформатор до допустимого значення; третя

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- діє на вимкнення трансформатора, якщо друга ступінь не здійснює розвантаження. Оскільки навіть при значних перевантаженнях немає потреби у негайному вимкненні трансформатора, при наявності персоналу достатньо спрацювання захисту на сигнал.

2.3. Розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту трансформатора

В якості основного швидкодіючої захисту трансформаторів і автотрансформаторів від замикань витків однієї фази, від КЗ між фазами і однофазних КЗ на землю широкого поширення набув диференційний релейний захист з зоною дії, обмеженою трансформаторами струму (ТС), встановленими з сторін ВН і НН трансформатора або зі сторін ВН, СН і НН автотрансформатора.

З боку 110-220 кВ енергоблоків, що приєднуються, до подвійної системи шин, диференційний захист включається на виносні ТС, що встановлюються біля вимикача 110-220 кВ, При заміні цього вимикача обхідним захист переключається на ТС обхідного вимикача і охоплює всю ошиновку від обхідного вимикача до трансформатора, що захищається, включаючи обхідну систему шин.

На енергоблоках з ВН 330 кВ і більше, що приєднуються на стороні ВН через два вимикача, диференційний захист включається на ТС, вбудовані в трансформатор блоку. При цьому вона не захищає вводи ВН трансформатора і ошиновки на стороні ВН. Для захисту введів трансформатора і його ошиновки на стороні ВН 330 кВ і вище енергоблоків з двома вимикачами по полуторній схемі, схемі 4/3 або схемі багатокутника застосовують диференціальний захист, що включається на ТС, встановлені в ланцюзі кожного вимикача, і на ТС, вбудовані в трансформатори (автотрансформатори) енергоблоку. Захист ошиновки використовується як

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при роботі блоку, так і при його ремонті, коли вимикачі ВН залишаються в роботі.

Перевагами диференціальних струмових захистів, що охоплюють всі обмотки трансформаторів або автотрансформаторів, є швидкість і дія при КЗ усередині баків, поза ними, в зоні, обмеженій ТС схеми. Розглянутий захист реагує на виткові КЗ. Недоліком захисту може бути недостатня чутливість при КЗ усередині обмоток, яка ще погіршується у разі використання достатньо грубих захистів. Тому для потужних трансформаторів бажано застосовувати захист з істотно меншими струмом напруги, і використовувати спільно з диференційним газовий захист, що реагує практично на всі пошкодження всередині баків, але працюючий, зазвичай, повільніше.

Рекомендується застосовувати диференційний струмовий захист на поодинокі працюючих трансформаторах потужністю 6,3 МВА і більше, на трансформаторах, що працюють паралельно, і на трансформаторах власних потреб станцій потужністю 4 МВА і більше.

Виконаємо розрахунок диференційного захисту трансформатора на реле типу Seram 80(T87):

Виходячи з розрахунку наступних параметрів виконується вибір уставок спрацювання диференційного захисту (з межами регулювання):

- мінімальної уставки $I_{ds}(30\% - 100\%I_{n1})$;
- Процентної характеристики $I_d/I_t (15\% - 50\%)$;
- Процентної характеристики $I_d/I_{t2} (50\% - 100\%)$;
- струму спрацювання диференційної відсічки $I_{dmax}(3 - 18I_{n1})$;
- точки зміни крутизни $SLP(\text{немає}, I_{n1} - 18I_{n1})$;
- уставки по другій гармоніці (відсутня, $5\% - 40\%$);

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

➤ уставки по п'ятій гармоніці (відсутня, 5% – 40%). [10]

1. Струм спрацювання диференційного захисту гальмівної характеристики обираємо за умовою відстройки від розрахункового струму небалансу:

$$I_{сз} = k_{відс} \cdot I_{неб.розр}$$

$k_{відс}$ – коефіцієнт відстройки, що враховує похибки реле, помилки у розрахунках і запас. Для Seram T 87 прийнято $k_{відс} = 1.1$

Розрахунковий струм небалансу:

$$I_{неб.розр} = I_{неб.ε} + I_{неб.рег} + I_{неб.f}$$

$I_{неб.ε}$ - складова частина струму небалансу, визначена похибкою трансформаторів струму

$I_{неб.рег}$ - складова частина струму небалансу, визначена регулюванням напруги на трансформаторі

$I_{неб.f}$ - складова частина струму небалансу, визначена похибкою перетворення АЦП, вирівнювання плечей, і т.п.

$$I_{неб.ε} = k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot ε \cdot I_{кз}$$

$k_{пер} = 1,0$ - коефіцієнт, враховуючий перехідний режим

$k_{одн} = 1,0$ - коефіцієнт однотипності трансформаторів струму. Для дифзахисту трансформаторів приймаємо $k_{одн} = 1,0$, оскільки існує можливість виникнення режиму, коли з однієї сторони силового трансформатора трансформатори струму мають похибку, рівну допустимій, а з іншої - працюють без похибки.

$ε$ - повна похибка ТС.

$$I_{неб.рег} = \frac{\Delta U_{рег}}{I_{кз}(1 - \Delta U_{рег})}$$

$\Delta U_{рег} = 0,16$ – при максимальному діапазоні регулювання напруги трансформатора $\pm 16\%$

$I_{неб.f} = 0,02$ – згідно з даними Schneider Electric.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо струм спрацювання диференційного захисту термінала Seram T87 за умовою відстроювання від струму небалансу за загальною формулою:

$$I_{сз} = 1,1(k\varepsilon + \frac{\Delta U_{рег}}{1 - \Delta U_{рег}} + 0,02)I_{кз}$$

Повну похибку ТС для всіх режимів приймемо рівній граничній допустимій $\varepsilon = 0,1$.

Мінімальний струм спрацьовування захисту при максимальному діапазоні регулювання напруги трансформатора:

$$I_{ds} = 1,1\left(1 \cdot 0,1 + \frac{0,16}{1 - 0,16} + 0,02\right) = 0,34$$

Приймаємо $I_{ds}=34\%$ [10]

2. Крутизна гальмівної характеристики визначається співвідношенням потрібного струму спрацювання до гальмівного струму, який є добутком відносного струму небалансу на той самий гальмівний струм. Отже нахил гальмівної характеристики рівний відносному струму спрацювання диференційного захисту при даному гальмівному струмі.

$$Id/It = \frac{k_{відс} I_{неб.розрах}}{I_{гальм}} = 1,1(k_{пер}\varepsilon + \frac{\Delta U_{рег}}{1 - \Delta U_{рег}} + 0,02)$$

$k_{пер} = 2$, оскільки навантаження двигунами $< 1/2$ номінальної потужності трансформатора.

Таким чином, крутизна першої похилої ділянки:

$$Id/It = 1,1\left(2 \cdot 0,1 + \frac{0,16}{1 - 0,16} + 0,02\right) = 0,45$$

Приймаємо до установки $Id/It=45\%$.

3. Крутизну гальмівної характеристики другої похилої ділянки приймаємо $Id/It_2=65\%$ - згідно рекомендацій виробника захисту. [10]

4. Точка зміни крутизни гальмівної характеристики, за рекомендацією Schneider Electric, визначається за виразом: [10]

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$SLP \leq 2+3/4 \cdot (\min (I_{к.нам.1}/\sqrt{2} I_{ном}; I_{к.нам.2}/\sqrt{2} I_{ном}))^{4/3} \cdot Id/It$$

де

$I_{к.нам}$ — первинне амплітудне значення кидка струму намагнічування трансформатора з боку першої/другої обмотки

$I_{ном}$ — номінальний струм силового трансформатора першої/другої обмотки

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном1}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 115} = 50,2 \text{ A}$$

$$I_{к.нам.1} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ном.1} \cdot (1 + A)}{\sqrt{3} \cdot X}$$

Для трансформаторів з холоднокатаною сталлю всіх напруг коефіцієнт

$$A=0,39$$

За наближеною формулою (для трансформаторів до 63 МВА) розрахуємо опір трансформатора при повному насиченні:

$$X^{(1)*g} = 0,094 + 0,74 \cdot \frac{U_k \%}{100} = 0,094 + 0,74 \cdot 0,105 = 0,172$$

приведемо опір лінії електропередачі до базисних умов

$$X_{\sigma} = \frac{U_{ном1}^2}{S_{ном}} = \frac{36,75^2}{10} = 135 \text{ Ом}$$

Опір лінії, нехтуючи активним опором:

$$X_{л} = X_{уд} \cdot L = 0,41 \cdot 10 = 4,1 \text{ Ом}$$

$$X_{л}^{*B} = X_{л} / X_{\sigma} = 4,1 / 1322,5 = 0,003$$

Опір контуру включення:

$$X^* = X_{л}^{*B} + K_1 X^{(1)*B} = 0,003 + 1,1 \cdot 0,172 = 0,192$$

В іменованих одиницях:

$$X = X^* \cdot X_{\sigma} = 0,192 \cdot 1322,5 = 253,92 \text{ Ом}$$

Таким чином:

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{к.нам.1}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 115 \cdot (1 + 0,39)}{\sqrt{3} \cdot 253,92} = 514 \text{ A}$$

$$\text{SLP} \leq 2 + \frac{3}{4} \left(\frac{514}{\sqrt{2} \cdot 50,2} \right) \cdot 0,39 = 4,12$$

Приймаємо до встановлення $\text{SLP}=4$

5. Струм спрацювання диференційної відсічки вибираємо за умовою відстроювання від струму небалансу:

$$I_{\text{дмакс}} = k_{\text{відс}} \cdot k_{\text{неб}} \cdot I_{\text{кз.макс}}$$

$k_{\text{відс}} = 1,2$ – коеф. відстроювання

$k_{\text{неб}} = 0,7$ – коеф. небалансу

$I_{\text{кз}}$ - максимальне значення періодичної складової струму зовнішнього КЗ.

Максимального значення зовнішнє КЗ набуде у випадку трифазного пошкодження на низькій стороні 10 кВ у режимі мінімального опору силового трансформатора, який буде найменшим при негативному положенні РПН: 115 кВ - $0,16 \cdot 115 = 96,6$ кВ. ($U_k=10,5\%$)

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}} \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}} = 0,105 \cdot \frac{96,6^2}{10} = 98 \text{ Ом}$$

Результуючий опір до місця короткого замикання:

$$Z_{\text{р}} = Z_{\text{л}} + Z_{\text{тр}} = 4,1 + 98 = 102,1 \text{ Ом}$$

Струм короткого замикання дорівнює:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} Z_{\text{р}}} = \frac{115000}{\sqrt{3} \cdot 102,1} = 650 \text{ A} = 12,95 I_{\text{н1}}$$

Отже:

$$I_{\text{дмакс}} = 1,2 \cdot 0,7 \cdot 12,95 I_{\text{н1}} = 10,88 I_{\text{н1}}$$

Приймаємо до встановлення $I_{\text{дмакс}} = 11 I_{\text{н1}}$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. За рекомендацією виробника, уставки блокування по другій і п'ятій гармонікам приймаємо:

$I_{5f}/I_{1f} = 35\%$ — з блокуванням пофазно.

Перевірка можливості використання самоадаптуючого гальмування.

Для його застосування амплітудне значення кидка струму намагнічування мусить бути менше 8-кратного номінального струму трансформатора:

$$I_{\text{к.нам.}} < 8I_{\text{ном}}$$

$$\frac{I_{\text{к.нам.}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{514}{50,2} = 10,2$$

Отже, застосовується традиційне гальмування. [7]

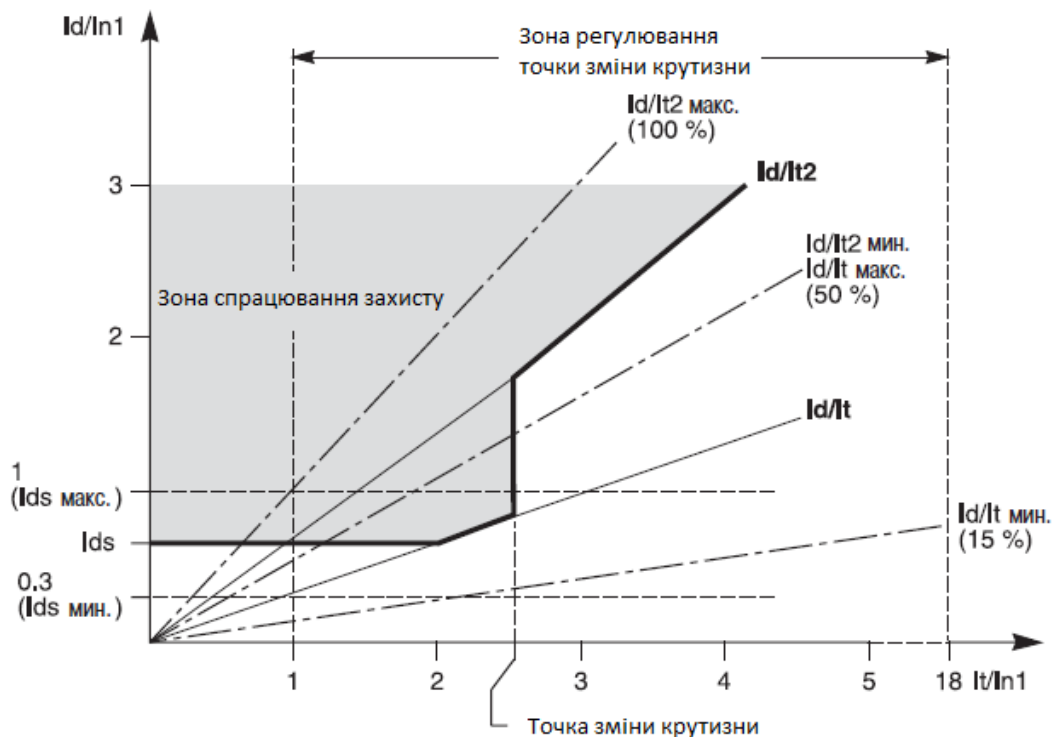


Рисунок 2.1 - Гальмівна характеристика диференційного захисту Seram 80 (87T) [8]

2.4. Розрахунок максимального струмового захисту з пуском по напрузі

Максимальний струмовий захист (МСЗ) реагує на збільшення струму в захищуваному елементі мережі. Він застосовується для захисту ліній, що мають одностороннє живлення, на лініях встановлюється з боку джерела

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

живлення і діє на вимкнення вимикача у разі пошкодження на лінії, що захищається, або на шинах підстанцій, що живляться від цієї лінії. Селективність захистів забезпечується підбором витримок часу, наростаючих ступенево в сторону джерела живлення. Ступенем селективності називається вилучина, що визначається як різниця часу спрацювання захисту з часом спрацювання захисту сусідньої ділянки, більш близької до джерела енергії. Тобто, якщо при КЗ на певній ділянці, з певних причин, не спрацював захист цієї ділянки, через час, рівний ступіню селективності спрацює МСЗ сусідньої, ближчої до джерела енергії ділянки. Він вимкне обидві ділянки.

Зрозуміло, що ступінь селективності має бути більшою за час спрацювання захисту, інакше МСЗ сусідньої ділянки спрацює на вимкнення раніше, ніж захист ушкодженої. У той же час значення ступеня селективності повинно бути невеликим, щоб мінімізувати пошкодження у мережі.

Захист виконується на реле струму (струмовий пусковий пристрій), реле мінімальної напруги і фільтр-реле напруги зворотної послідовності.

1. Обирається струм спрацювання захисту за умовами:

- за умовою відстроювання від номінального струму трансформатора

Розрахуємо для сторони 10 кВ.

$$I_{сз} = \frac{k_{відс}}{k_B} I_{ном}$$

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном1}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 10,5} = 549,8 \text{ А}$$

$k_{відс} = 1.2$ - коефіцієнт відстроювання;

$k_B = 0.8$ - коефіцієнт повернення струмового реле;

$$I_{сз} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 549,8 = 824,7 \text{ А}$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- за умовою узгодження з захистами суміжних підключень

$$I_{сз} \geq k_n \cdot I_{сз.сум.пр}$$

$k_n = 1,1$ — коеф. надійності узгодження;

$I_{сз.сум.пр}$ — струм дії захисту сусіднього підключення.

Узгоджуємо з максимальним струмовим захистом підключених суміжно кабельних ліній: [3]

$$I_{сз.сум.пр} = 120 \text{ A};$$

$$I_{сз} = 824,7 \text{ A} \geq 1,1 \cdot 120 = 132 \text{ A}$$

2. Напруга спрацювання пристрою фільтр-реле напруги зворотної послідовності приймаємо рівним:

$$U_{2сз} = 0,06 \cdot U_{ном} = 0,06 \cdot 10,5 = 0,63 \text{ кВ}$$

3. Для мінімального реле напруги, первинна напруга спрацювання обирається виходячи із умов:

- умова повернення реле після вимкнення зовнішнього короткого замикання

$$U_{сз} \leq \frac{U_{min}}{k_{відс} k_B}$$

$U_{min} = 0,9 \cdot U_{ном} = 0,9 \cdot 10,5 = 9,45 \text{ кВ}$ - мінімальна робоча напруга.

$k_B = 1,2$ — коефіцієнт повернення;

$k_{відс} = 1,2$ — коефіцієнт відстроювання;

$$U_{сз} \leq \frac{9,45}{1,2 \cdot 1,2} = 6,56 \text{ кВ}$$

- відстроювання реле від напруги самозапуску при повторному ввімкненні загальмованих двигунів після спрацювання АПВ (автоматичне повторне ввімкнення) або АВР (автоматичний ввод резерву)

$$U_{сз} \leq \frac{U_{сзан}}{k_{відс}}$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$U_{сз\text{ап}}$ — напруга у точці встановлення захисту при самозапуску двигуна. Розрахунок орієнтовний

$$U_{сз\text{ап}} = 0,7 \cdot U_{ном} = 0,7 \cdot 10,5 = 7,35 \text{ кВ}$$

Тоді

$$U_{сз} \leq \frac{7,35}{1,2} = 6,12 \text{ кВ}$$

Згідно ПУЕ (п.3.2.21), чутливість захисту для струмового реле не повинна бути нижче 1,5: [1]

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{2\text{кз.}}}{I_{сз.}} = \frac{2577}{824,7} = 3,1 \geq 1,5$$

Розрахований захист достатньо чутливий і може бути рекомендований до встановлення.

2.5. Захист від перевантаження

Захист від перевантаження силових трансформаторів виконується за допомогою максимального струмового захисту (реле струму), увімкненого на струм однієї фази. Він діє з витримкою часу, більшою, ніж витримки часу при КЗ і реагує на симетричні перевантаження, однакові в усіх фазах. Зазвичай захист від перевантаження діє на сигнал персоналу.

Струм спрацювання захисту повинен відстроюватись від номінального струму трансформатора:

$$I_{сз} = \frac{k_{\text{відс}}}{k_B} \cdot I_{ном}$$

$k_{\text{відс}} = 1.05$ - коефіцієнт відстроювання;

$k_B = 0.8$ - коефіцієнт повернення;

$$I_{сз} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 549,8 = 721,612$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{сп} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{n_{mm}} = \frac{721,612 \cdot \sqrt{3}}{1000/5} = 6.25 \text{ А}$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Захист від замикання на землю

В трифазних електричних мережах всіх класів напруги найчастіше трапляються однофазні замикання на землю. В мережах з глухозаземленою нейтраллю (високих класів напруги , $\geq 110\text{kV}$) однофазні КЗ супроводжуються достатньо значними струмами, які можуть перевищувати навіть струми трифазних КЗ. Ці КЗ повинні негайно автоматично вимикатись. [3]

В мережах з ізольованою нейтраллю (в основному класи напруги 6-35 кВ), струми однофазного КЗ на землю відносно невеликі, тому такі мережі називають мережами з малим струмом замикання на землю. Тим не менш, вони становлять значну небезпеку для обладнання електричних мереж та людей поблизу. Згідно ПУЕ п.3.2.2(а) допускається робота захисту на сигнал у випадку, якщо замикання не порушує роботу системи. У іншому випадку необхідне автоматичне вимкнення. [1]

Для покращення гасіння дуги та уникнення переходу замикання на землю у міжфазне КЗ у мережах мають бути встановлені дугогасильні котушки, які компенсують основну гармоніку ємнісного струму замикання на землю. Внаслідок цього, результуючий струм пошкодження в усталеному режимі різко зменшується. У випадку замикання на землю струм, який проходить пошкодженим з'єднанням (рис.2.2), являє собою суму струму дугогасної котушки (за її присутності) та струмів неушкоджених елементів.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

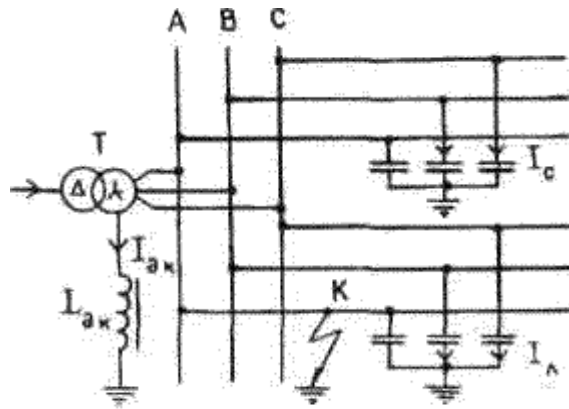


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема однофазного КЗ в електричній мережі

У некомпенсованій мережі основні гармонічні струми на пошкоджених та непошкоджених з'єднаннях вказують у протилежних напрямках, що можна пояснити розташуванням джерела напруги нульової послідовності в короткому замиканні. (рис.2.3). Тому струм I_C , визначений ємнісним опором неушкодженої мережі, в ушкодженому елементі протікає в напрямку до шин, а в непошкодженому – навпаки.

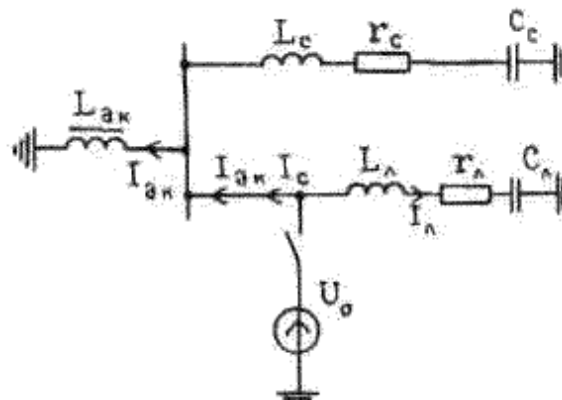


Рисунок 2.3 - Схема заміщення для нульової послідовності

При включенні дугогасної котушки $L_{ДК}$ у нейтраль одного з трансформаторів, фаза основної гармоніки струму ушкодження буде залежати від співвідношення величини ємності непошкоджених ділянок до індуктивності котушки. У випадку, якщо переважає індуктивна складова

струму ушкодження, фази реактивних складових струму ушкодження однакові на неушкодженому (ємнісний струм, спрямований до лінії) та ушкодженому (індуктивний струм, спрямований до шин) приєднаннях.

Фаза та значення струмів замикання характеризуються напругою нульової послідовності U_0 . U_0 становитиме максимальне значення при замиканнях на землю без перехідного опору і буде рівним фазній напрузі мережі. У випадках замикання через перехідний опір значення U_0 визначається відношенням опору нульової послідовності до перехідного опору. Кут між струмом замикання на землю та напругою U_0 завжди симетричний і рівний куту опору нульової послідовності. Наявність перехідного опору зменшує кут відносно фазної напруги і саме значення U_0 .

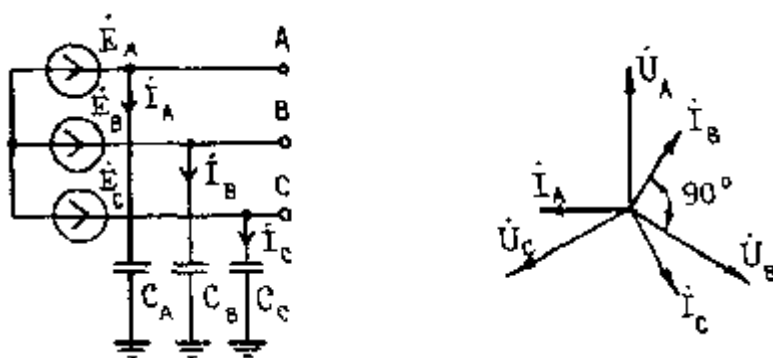


Рисунок 2.4 - Схема заміщення і векторна діаграма напруг і ємнісних струмів мережі з ізольованою нейтраллю в нормальному режимі

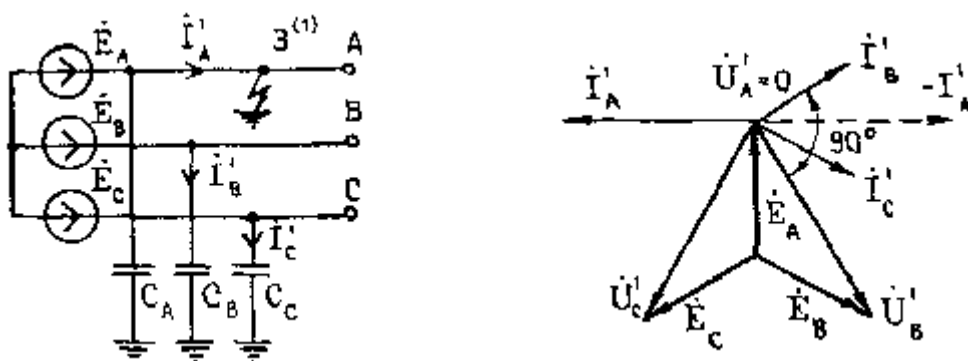


Рисунок 2.5 - Схема заміщення і векторна діаграма напруг і ємнісних струмів мережі з ізольованою нейтраллю з однофазним замиканням на землю.

Аналізуючи однофазні КЗ на землю у мережах з ізольованою нейтраллю звернемо увагу на відповідні схеми заміщення та векторні діаграми (рисунки 2.4, 2.5). Відповідно до практичних завдань розрахунку аварійних режимів, введемо деякі припущення:

- рівномірно розподілені вздовж ліній ємності окремих фаз відносно землі, умовно представимо у вигляді еквівалентно зосереджених ємностей $C_A = C_B = C_C = C$, ввімкненими посередині ЛЕП;
- не враховуємо провідності витоку струму, активні та індуктивні опори ЛЕП які є малими у порівнянні з ємнісними опорами фаз відносно землі;
- опори навантаження та ЛЕП будемо вважати симетричними.

Ємнісні струми фаз $I_A = j\omega C U_A$; $I_B = j\omega C U_B$; $I_C = j\omega C U_C$ однакові по модулю, а по фазі на кут 90° випереджають відповідні напруги. У нормальному режимі сума струмів рівна нулю (рис. 2.6.3). Напруга нейтралі U_0 визначається виразом:

$$\dot{U}_0 = \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} = 0$$

де $Y_A = Y_B = Y_C = j\omega C$ — ємнісні провідності окремих фаз нормального режиму.

При замиканнях на землю без перехідного опору в точці ушкодження ушкоджена фаза А здобуває потенціал землі (рис. 2.5). Тому $U_A = 0$; $Y_A = \infty$. Напруга нейтралі U_0 дорівнюватиме \dot{E}_A . Напруги неушкоджених фаз відносно землі збільшуються в $\sqrt{3}$ рази і складають: [3]

$$\dot{U}'_B = \sqrt{3} \cdot E_A \cdot \exp(-j \cdot 150^\circ); \quad \dot{U}'_C = \sqrt{3} \cdot E_A \cdot \exp(-j \cdot 150^\circ)$$

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Ємнісні струми аналогічно зростуть в $\sqrt{3}$ рази. Випереджаючи напруги \dot{U}'_B та \dot{U}'_C на кут 90° , вони через землю повертаються у аварійну фазу, струм якої рівний струму замикання на землю

$$I'_A = \dot{i}_{3A}^{(1)} = 3 \cdot \dot{I}_0 = -(\dot{I}'_B + \dot{I}'_C) = 3j\omega C \dot{E}_A$$

де \dot{I}_0 – струм нульової послідовності замикання на землю.

Струми $\dot{i}_{3A}^{(1)}$ та \dot{I}_0 випереджають ЕРС \dot{E}_A на кут 90° і залежать від ємностей фаз системи живлення заданої напруги та від значення \dot{E}_A . Тому в розгалужених мережах великої ємності струм замикання на землю є значно більшим, що збільшує небезпеку ураження струмом людей та пожежонебезпеку. Сумарний струм $I_{3\Sigma}$ в місці замикання на землю фази однієї з кількох ліній електропередач, увімкнених до загального джерела живлення, за рахунок ємнісних струмів усіх ЛЕП буде складати:

$$I_{3\Sigma} = 3 \cdot \dot{I}_{0\Sigma} = 3j\omega C_\Sigma U_\phi$$

C_Σ – загальна ємність фази всіх ЛЕП та дорівнює добутку питомої ємності фази мережі відносно землі та загальної довжини провідника однієї фази мережі.

$$C_\Sigma = C_{\text{плт}} \cdot l$$

Можемо визначити струм КЗ на землю мережі кабельних ліній емпіричною формулою:

$$I_{3\Sigma} = \frac{\sum_{i=1} (95 + 2,84 \cdot q_i) \cdot U_{\text{ном}} \cdot l_i}{2200 + 6 \cdot q_i}$$

де $U_{\text{ном}}$ – лінійна номінальна напруга мережі, кВ; l_i – довжина кабельних ліній, км; q_i – переріз кабелю, мм².

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{3\Sigma} = \frac{(95 + 2,84 \cdot 50) \cdot 10,5 \cdot 84}{2200 + 6 \cdot 50} = 113,67 \text{ (A)}$$

З точки зору надійності електроживлення, електробезпеки та проектування обладнання, оцінка аварійних режимів КЗ на землю у мережах з ізолюваною нейтраллю є критично важливою для підприємств та об'єктів. Перш за все, це характерно для гірничодобувної промисловості, де присутні складні гірничо-геологічні умови, вибухонебезпека вугільних шахт. [6]

2.7. Дуговий захист

Пристрої дугового захисту призначені для виявлення дуги в електроустановках та спрацьовують на вимкнення вимикача. Дуговий захист забезпечує безпеку персоналу та мінімізує збитки, завдані дугою. [2]

Найчастіше використовують оптичний дуговий захист. Принцип його дії полягає у фіксації світлових спалахів усередині розподільчих пристроїв, викликаних дугою. На сьогоднішній день час власного вимикання високовольтного вимикача за допомогою таких пристроїв лежить у межах 10-90мс, тоді як час ліквідації дугового КЗ звичайними дуговими захистами перевищує безпечний поріг у 50-60мс.

На підстанції узгоджено встановлення оптичної системи дугового захисту VAMP-221 виробника «Schneider Electric»

Комплектація: центральний блок, блок розширення, датчики дуги, реле розмноження кількості контактів вимкнення.

Особливості:

- контроль 3-фазного струму;
- дугова протекція 2-фазного струму, струму ЗЗ;
- параметри деактивації за вибором;
- 2 незалежні одна від одної групи вимкнення;

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 4 вихідних реле і 4 зони протекції;
- шина для трансляції відомостей про перевищення уставки по струму;
- світлодіодний сигнал про стан, вимкнення, відмову;
- можливість монтажу додаткових блоків розширення - до 16 штук;
- автодіагностика системи.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики захисту VAMP-221

Номінальна напруга	48-265 В пост. / Пер. струму
Освітленість спрацювання	8 000 ЛК
Період спрацювання протекції	7 мс
Кількість зон захисту	4
Споживання потужності в режимі очікування	8 Вт
Діапазон робочих температур	-25 ... + 55 ° С

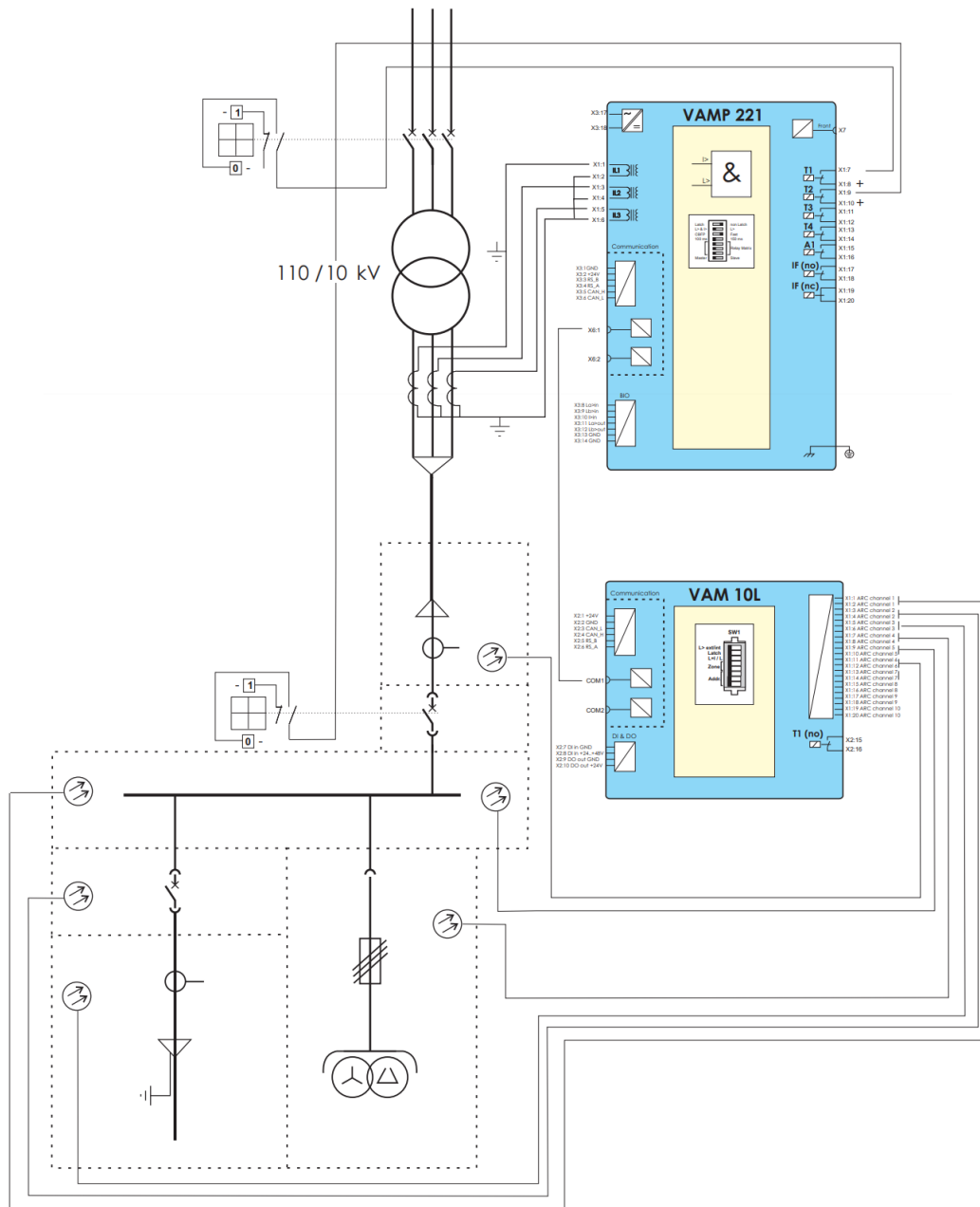


Рисунок 2.6 - Приклад підключення дугового захисту VAMP 221

2.8. Газовий захист

Згідно ПУЕ п.3.2.53, для трансформаторів потужністю $\geq 6,3$ МВА, в обов'язковому порядку мусить бути передбачений газовий захист. [1]

Прийнято рішення встановити на підстанції трансформаторні газові реле РГТ50 і РГТ80.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Газове реле РГТ-50(80) являє собою герметично закритий корпус, що встановлюється в маслопроводі між баком трансформатора та розширювачем. У нормальному режимі роботи, коли корпус реле заповнений маслом, контакти спрацювання розімкнуті. При утворенні газу в баку трансформатора, газ по маслопроводу прямує до розширювача, накопичуючись у корпусі реле.

При збільшенні кількості газу відбувається зниження рівня масла, поплавков сигнального елемента замикає сигнальний контакт (дія захисту на сигнал). При зниженні рівня масла через протікання принци дії аналогічний.

Якщо рівень масла знижується до рівня, коли корпус реле спорожняється наполовину, поплавков вимикаючого елемента опускається під дією сили тяжіння і замикає контакт дії захисту на вимкнення. [2]

При КЗ всередині бака трансформатора під дією електричної дуги відбувається бурхливе розкладання масла і потік масла або суміші масла з газом спрямовується з великою швидкістю в розширювач. Під впливом цього потоку пластина, яка має регульовану уставку спрацювання по швидкості потоку масла, відхиляється на певний кут і замикає контакт дії захисту на вимкнення. В залежності від типу і інтенсивності проходження події можлива послідовна або одночасна робота захисту на сигнал і вимкнення трансформатора.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 - Електричні параметри газових реле РГТ 50(80)

Номінальна напруга постійного або змінного струму частотою 50-60 Гц	220 В
Діапазон комутуючих напруг	1 – 300 В
Мінімальний комутуючий струм	1 мА
Номінальна комутуюча потужність при роботі на активне навантаження	50 Вт
Електрична міцність ізоляції розімкнених контактів при змінній напрузі частотою 50-60 Гц	20000 В
Установка по швидкості току масла	0,65; 1,0; 1,5 м/с

Висновки

У другому розділі бакалаврської роботи детально розглянуто релейний захист силового трансформатора 10МВА 110/10кВ.

Обрано основні та резервні захисти, обчислено уставки спрацювання диференційного захисту для реле типу Sepam 80 T87 «Schneider Electric». Розраховано та узгоджено встановлення обладнання для максимального струмового захисту з пуском по напрузі, захисту від перевантаження, замикання на землю, дугового та газового захисту трансформаторів.

3. ПОБУДОВА ТА КОНСТРУКЦІЯ ЦИФРОВОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА (SERAM «SCHNEIDER ELECTRIC»)

3.1. Характеристики пристрою Seram серії 80

Для наступної модернізації установки та адаптації до найбільшої кількості можливих застосувань, функціонал пристрою може бути покращений шляхом під'єднання додаткових модулів, які встановлюються залежно від потреб. [8]

Пристрій Seram складається з наступних блоків:

- Базовий пристрій з виносним або вбудованим дисплеєм
- Зйомний картридж (для збереження на ньому налаштувань і швидкого вводу в експлуатацію базового пристрою після заміни)
- 2 незалежних порти зв'язку (підключення до ліній RS 485, оптоволокну, Ethernet)
- 42 логічних входу / 23 релейних вихода для 3 додаткових модулів, кожен на 14 входів і 6 виходів
- Температурні датчики (максимальна одночасна обробка 16 шт.)
- Низькорівневий аналоговий вихід
- Програмне забезпечення:

					141.6111.02.ДБ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Побудова та конструкція цифрового захисту трансформатора (Seram «Schneider Electric»)		
Розробив		Тесля Д.Г.					
Перевірив		Хлистов В.М.					
Н. контр.		Настенко Д.В.					
Затвердив		Толочко О.І.					
					Літ.	Лист	Листів
						54	13
					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-зг61-01		

Таблиця 3.1 - Електричні характеристики базового пристрою (частина 1)

Входи датчиків					
Входи фазного струму		1А або 5А СТ			
Опір повний вхідний		< 0,0010м			
Споживання	< 0,001ВА для транс. струму 1 А				
	< 0,025ВА для транс. струму 5 А				
теплостійкість у постійн. режимі		3In			
1 з перевантаження		100In			
Входи напруги	Напруга фазна	Напруга нульов. послідовн.			
Опір повний вхідний	> 100кОм	> 100кОм			
споживання	< 0,015ВА (для транс. напр.100В)	< 0,015ВА (для транс. напр. 100В)			
теплостійкість у постійн. режимі	240В	240В			
1 з перевантаження	480В	480В			
Виходи реле					
Виходи реле управління (01—04)					
напруга	струм постійний	24В/48В	127В	220В	
	струм змінний (47,5—63Гц)				100-240В
струм постійний		8А	8А	8А	8А
Здатність до вимикання	Резист. навантаження	8/4 А	0,7 А	0,3 А	
	Навантаж. L/R < 20мс	6/2А	0,5 А	0,2 А	
	Навантаж. L/R < 40мс	4/1А	0,2 А	0,1 А	
	Резист. навантаж				8 А
	Навант. cos > 0,3				5 А

Таблиця 3.2 - Електричні характеристики базового пристрою (частина 2)

Здатність до ввімкнення		<15А за 200мс				
Виходи реле сигналізації						
напруга	струм постійний		24/48В	127В	220В	
	струм змінний (47,5–63Гц)					100-240В
струм постійний			2А	2А	2А	2А
Здатність до вимкнення		Навант. <i>L/R < 20мс</i>	2/1А	0,5 А	0,15 А	
		Навант. <i>cos > 0,3</i>				1 А
Джерело живлення						
Напруга			24—250В постійного струму –20 %/+10 %			
Максим. споживання			10 – 16Вт відповідно до конфігурації			
струм пусковий			<10А за 10мс			
допустимий коеф. пульсації			12 %			
допустима короткочасна втрата живлення			100мс			
Батарея						
розмір			1/2 АА літієвий 3,6 В			
термін роботи			10 років при ввімкнутому Seram			
			8 років при вимкненому Seram			

Функціональні можливості пристрою Seram T87: [8]

Таблиця 3.3 - Захисти

<u>Вид Захисту</u>	<u>Кількість реле</u>
максимальний струмовий захист в фазах	8
максимальний струмовий/чутливий захист від замикань на землю	8
ПРВВ – пристрій резервування відмови вимикача	1
максимальний захист зворотної послідовності / небаланс	2
тепловий захист електричної машини	2
диференційний захист від замикань на землю	2
диференційний захист двухобмоткового трансформатора	1
максимальний направлений захист активної потужності	2
контроль насичення, (В/Гц)	2
захист мінімальної напруги прямої послідовності	2
однофазний захист мінімальної напруги	2
лінійний/фазний захист мінімальної напруги	4
лінійний/фазний захист максимальної напруги	4
захист максимальної напруги нульової послідовності	2
захист максимальної напруги зворотної послідовності	2
захист максимальної частоти	2
захист мінімальної частоти	2
термостат / газове реле	відповідно до потреб замовника
контроль температури (16 датчиків)	відповідно до потреб замовника

Таблиця 3.4 - Діагностика вимикача

<u>Вид діагностики</u>	<u>Наявність/значення</u>
контроль трансформаторів струму/напруги	+
контроль ланцюга вимкнення	відповідно до потреб замовника
контроль живлення Seram	+
кумулятивне значення струмів вимкнення	+
кількість комутацій	відповідно до потреб замовника
час напрацювання	відповідно до потреб замовника
час взводу приводу	відповідно до потреб замовника
кількість помилкових спрацювань вимикача	відповідно до потреб замовника

Таблиця 3.5 - Контроль і керування

<u>Тип контролю/керування</u>	<u>Наявність/значення</u>
керування вимикачем / контактором	+
логічна селективність	відповідно до потреб замовника
редактор логічних рівнянь	+
перемикання груп уставок	+
сигналізація	+
утримання	+

Таблиця 3.6 - Вимірювання

<u>Параметр вимірювання, умовне позначення</u>	<u>Наявність/значення</u>
фазний струм (діюче значення) (I_1, I_2, I_3)	+
середнє значення струму (I_1, I_2, I_3)	+
розрахований струм нульової послідовності ($I_0 \Sigma$)	+
максиметри струму (IM_1, IM_2, IM_3)	+
напруга ($U_{21}, U_{32}, U_{13}, V_1, V_2, V_3$)	+
вимірний струм нульової послідовності (I_0, I'_0)	+
напруга нульової послідовності (V_0)	+
напруга зворотної послідовності (V_i)	+
напрямок обертання фаз /напруга прямої послідовності (V_d)	+
частота	+
реактивна потужність (Q, Q_1, Q_2, Q_3)	+
активна потужність (P, P_1, P_2, P_3)	+
повна потужність (S, S_1, S_2, S_3)	+
коефіцієнт потужності	+
максиметри потужності (PM, QM)	+
розрахована активна і реактивна енергія	+
фазний струм (діючі значення) (I'_1, I'_2, I'_3)	+
активна і реактивна енергія (імпульсний лічильник) (у відповідності з вимогами замовника)	+
температура (16 датчиків)	відповідно до потреб замовника
розрахований струм нульової послідовності ($I'_0 \Sigma$)	+

Таблиця 3.7 - Діагностика мережі і електричної машини

<u>Тип діагностики, позначення</u>	<u>Наявність</u>
контекст вимкнення	+
струм вимкнення ($I_{trip1-3}$)	+
коефіцієнт несиметрії / струм зворотної послідовності (I_i)	+
лічильники вимкнень при міжфазному замиканні та замиканні на землю	+
повний коефіцієнт гармонік струму і напруги (I_{thd} , U_{thd})	+
запис осцилограм аварійних режимів	+
зсув фаз $\varphi_0, \varphi'_0, \varphi_0 \Sigma$	+
зсув фаз $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	+
нагрів	+
час роботи до вимкнення по перевантаженню	+
час очікування після вимкнення при перевантаженні	+
лічильник годин роботи / час роботи	+
наскрізний струм (I_{t1}, I_{t2}, I_{t3})	+
диференційний струм ($I_{diff1}, I_{diff2}, I_{diff3}$)	+
фазовий зсув φ між струмами I та I'	+
міжфазний повний опір Z_{21}, Z_{32}, Z_{13}	+
повний опір прямої послідовності Z_d	+

Таблиця 3.8 - Зв'язок Modbus

Функція зв'язку	Наявність
зчитування вимірювань	відповідно до потреб замовника
телесигналізація і тимчасове маркування подій	відповідно до потреб замовника
команди дистанційного керування	відповідно до потреб замовника
дистанційне налаштування захистів	відповідно до потреб замовника
передача даних записів осцилограм аварійних режимів	відповідно до потреб замовника

Можливий варіант підключення Seram 80 (T87) показано на Рис.3.1

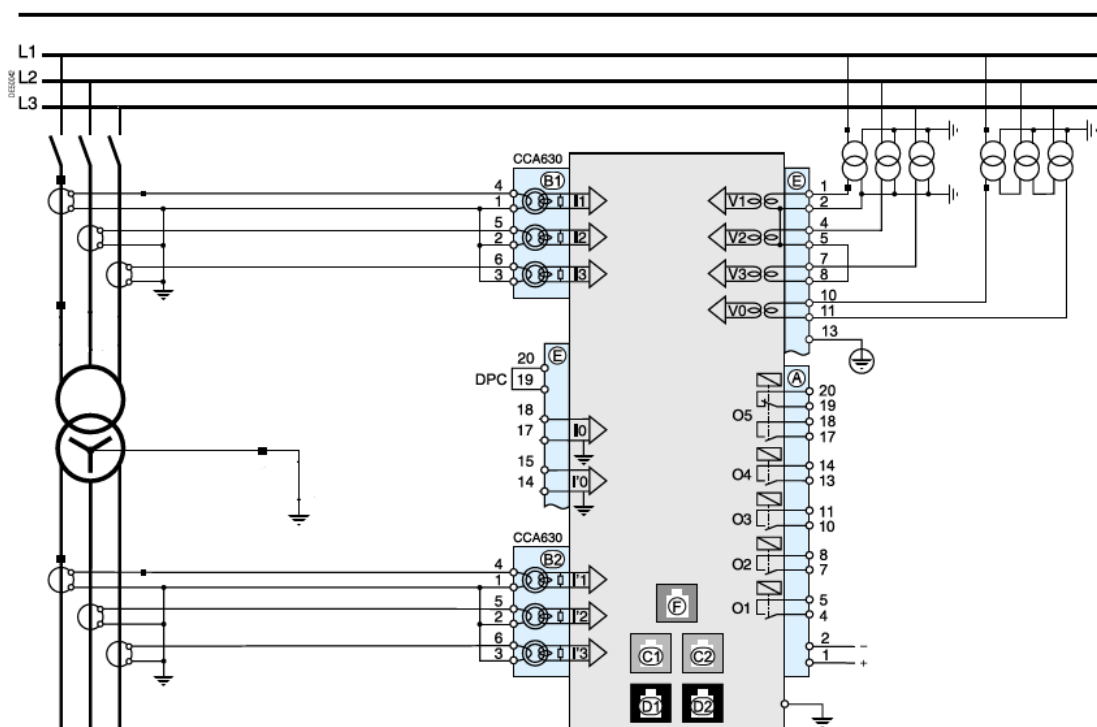


Рисунок 3.1 - Схема підключення Seram 80(T87)

3.2 Алгоритм роботи захистів

Алгоритм роботи диференційного захисту показаний на Рис.3.2

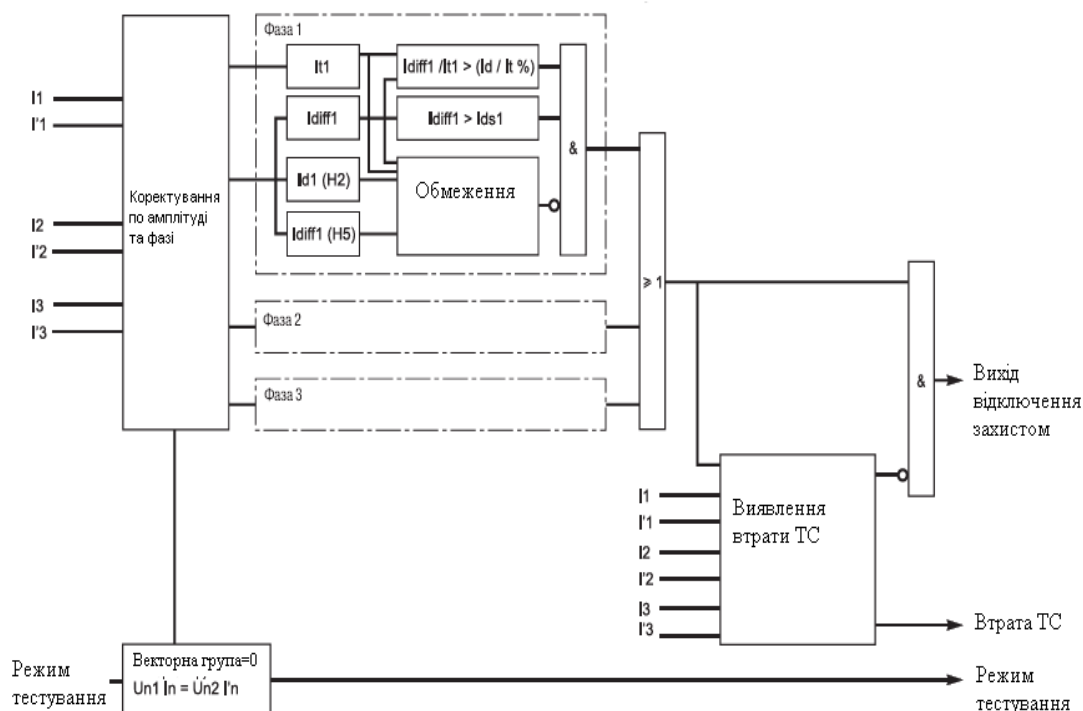


Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи диференційного захисту. [9]

Дифзахист Seram виконує корекцію по фазі і по модулю струми кожної обмотки в залежності від векторної групи, потужності трансформатора та значень напруги. Після цього, захист порівнює відкоректовані струми кожної фази. Зона, яка знаходиться під захистом, розташована між датчиками первинних і вторинних струмів. [9]

Доступні два режими роботи пристрою:

- Нормальний режим – функції захисту працюють на вимкнення/сигналізацію відповідно до заданих параметрів
- Режим тестування - функції захисту діють відповідно до регулювань режиму тестування. Група з'єднань силового трансформатора автоматично виставляється в нуль, тоді як номінальні напруги трансформатора розраховуються згідно формул:

$$U_{\text{ном1}} = \frac{S}{\sqrt{3}I_{\text{номТС1}}}$$

$$U_{\text{ном2}} = \frac{S}{\sqrt{3}I_{\text{номТС2}}}$$

$I_{\text{ном ТС1}}$ – первинний номінальний струм ТС силового трансформатора;

$I_{\text{ном тс2}}$ – вторинний номінальний струм ТС силового трансформатора;

$U_{\text{ном1}}$ – первинна змінена напруга силового трансформатора;

$U_{\text{ном2}}$ – вторинна змінена напруга силового трансформатора;

S — потужність трансформатора (повна).

Виходячи з розрахунку наступних параметрів виконується вибір уставок спрацювання диференційного захисту (з межами регулювання):

- мінімальної уставки $I_{\text{дс}}(30\% - 100\%I_{\text{н1}})$;
- Процентної характеристики $I_{\text{д}}/I_{\text{т}} (15\% - 50\%)$;
- Процентної характеристики $I_{\text{д}}/I_{\text{т2}} (50\% - 100\%)$;
- струму спрацювання диференційної відсічки $I_{\text{дmax}}(3 - 18I_{\text{н1}})$;
- точки зміни крутизни $SLP(\text{немає}, I_{\text{н1}} - 18I_{\text{н1}})$;
- уставки по другій гармоніці (відсутня, $5\% - 40\%$);
- уставки по п'ятій гармоніці (відсутня, $5\% - 40\%$).

3.3. Контроль ланцюгів трансформаторів струму та напруги

Контроль ланцюгів трансформаторів струму та напруги у пристроях Seram виконується за допомогою функції ANSI 60/60FL та включає в себе:

- Датчики трансформаторів струму та напруги.
- Лінія зв'язку.
- Аналогові входи фазного струму Seram. [8]

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль здійснюється двома способами:

- шляхом безперервного контролю вимірних значень струмів і напруг;
- шляхом перевірки даних про стан блок контактів запобіжника трансформатора фазної напруги або трансформатора напруги нульової послідовності. У разі втрати даних про значеннях струму або напруги, відповідні функції захисту можуть блокуватися для уникнення небажаних відключень.

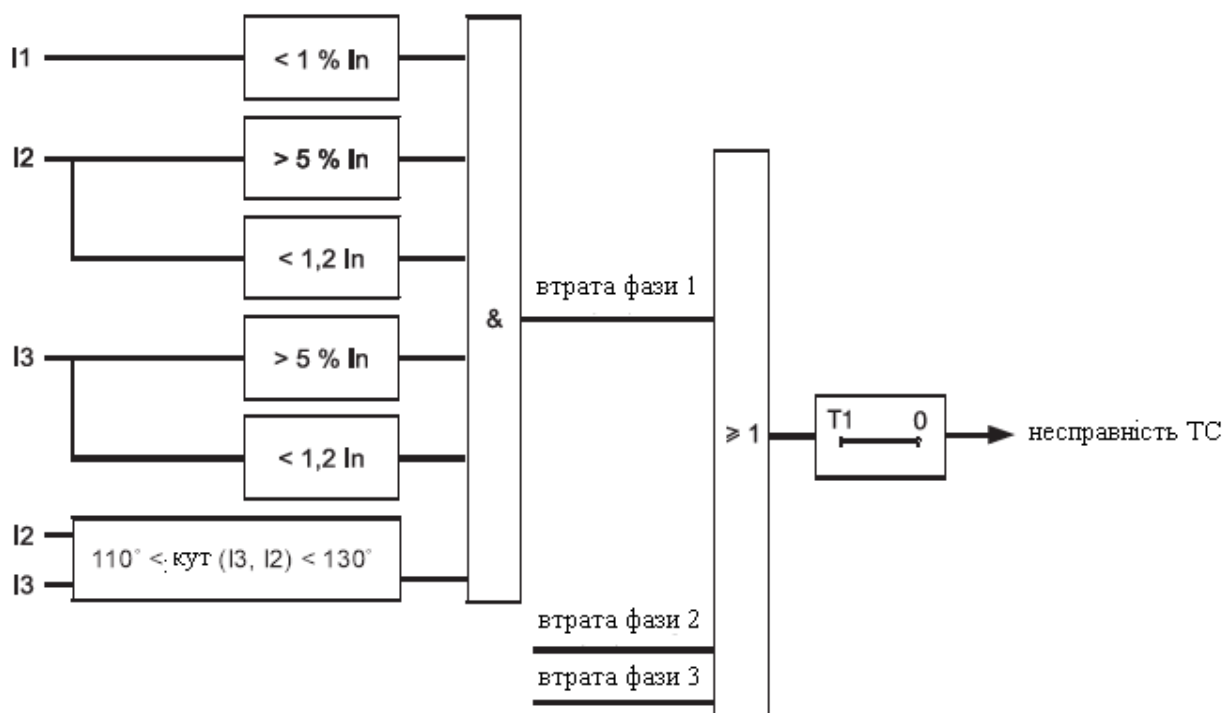


Рисунок 3.3 - Функціональна схема контролю ланцюгів ТС [9]

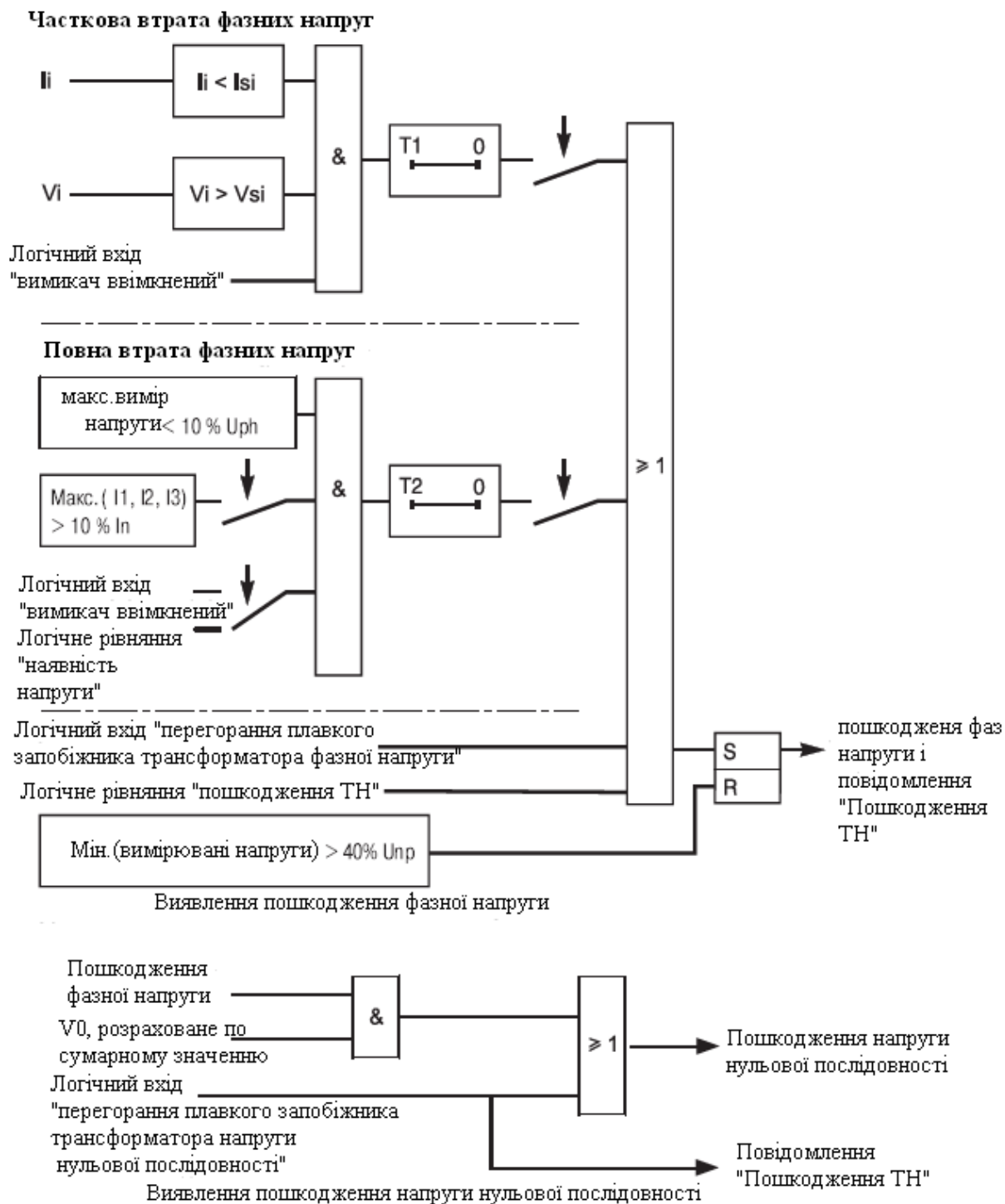


Рисунок 3.4 - Алгоритм контролю ланцюгів вимірювань фазної напруги і напруг нульової послідовності.

3.4. Реєстр аварійних подій (осцилографіювання)

Функція виконує запис аналогових сигналів і логічних функцій. Програмне забезпечення SFT 2841 встановлює параметри, згідно яких відбувається збереження записів. Запис починається до події, продовжується після неї та містить в собі наступну інформацію: [7]

- дискретні значення сигналів;
- дату, час;
- характеристики записаних сигналів.

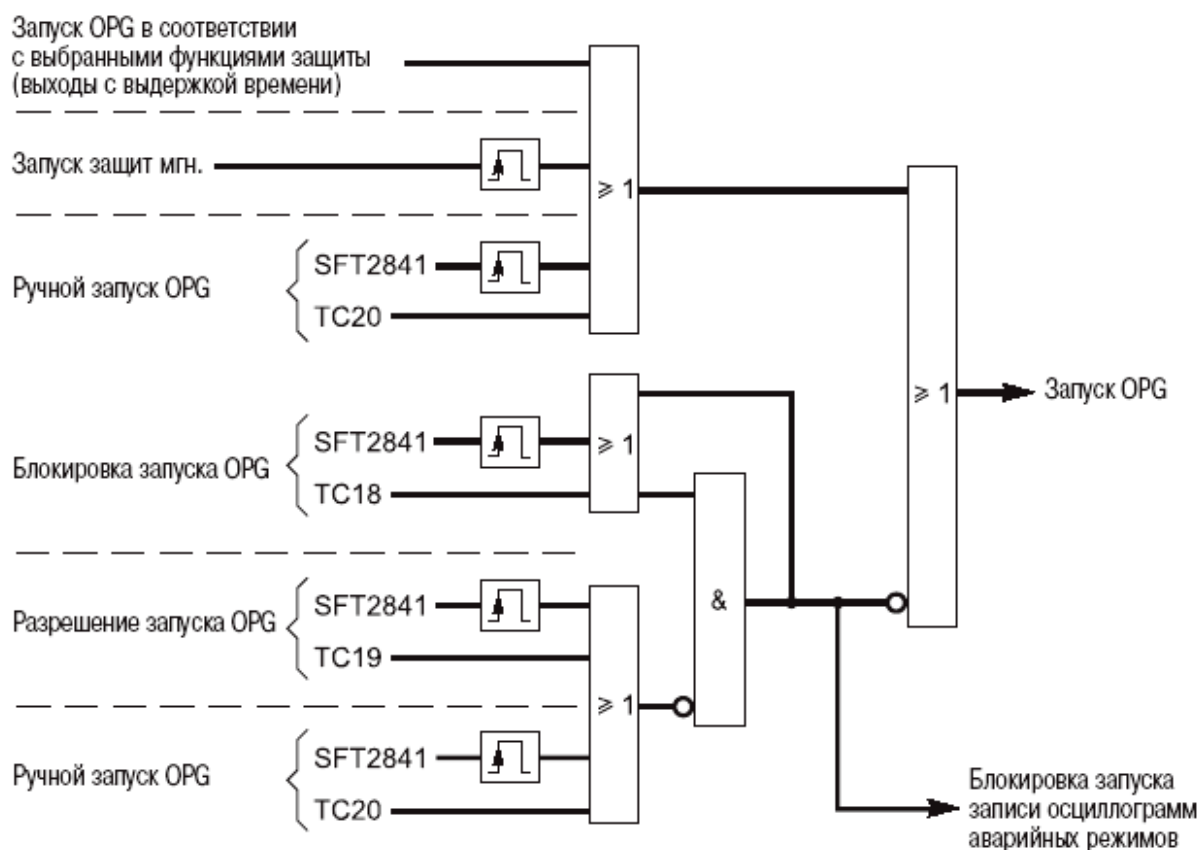


Рисунок 3.5 - Запуск осцилографіювання аварійних режимів

Запис у пам'ять є циклічним, тобто при вичерпанні обсягів пам'яті новий файл записується замість найстарішого - FIFO (First In First Out)

Передача файлів може здійснюватись локально або дистанційно:

- локально: за допомогою ПК з встановленим забезпеченням SFT 2841, який під'єднано до пристрою Seram;
- дистанційно: необхідне додаткове встановлення спеціального програмного забезпечення для налаштування системи диспетчеризації.

Також, за допомогою програмного забезпечення SFT 2826 відбувається відновлення сигналів по запису.

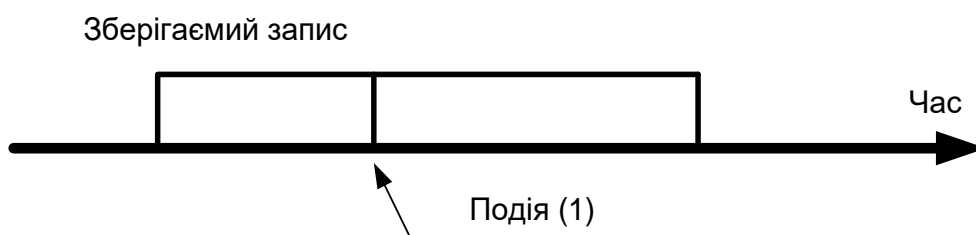


Рисунок 3.6 - Принцип дії функції [8]

Висновки

Детально розглянуто побудову та функції цифрового захисту трансформаторів Seram T87 виробника «Schneider Electric». Основну увагу приділено характеристикам приладу, алгоритму роботи захистів, контролю ланцюгів трансформаторів струму та напруги, а також функції осцилографіювання.

ВИСНОВКИ

Бакалаврську роботу присвячено проекту релейного захисту силового трансформатора на підстанції класу напруг 110/10 кВ. Обрано та перевірено основні елементи схеми підстанції, розглянуто призначення та загальні вимоги до пристроїв релейного захисту силового трансформатора. Виконано розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту, розраховано максимальний струмовий захист, захист від однофазного замикання на землю, газовий захист, дуговий захист та захист від перевантаження трансформаторів. Впроваджено сучасні цифрові мікропроцесорні технології для захисту трансформаторів, що робить його значно надійнішим та наділяє ширшим набором функцій, таких як реєстрування процесів аварійних станів, здатність до дального резервування тощо.

Найбільше уваги приділено мікропроцесорному реле захисту Seram серії 80 (87T) виробника «Schneider Electric», його характеристикам, функціональним можливостям та алгоритму роботи. Розрахунок гальмівної характеристики пристрою Seram 87T дав результати згідно яких прийнято до встановлення уставки:

- мінімальний струм спрацювання: $I_{ds} = 34\%$;
- крутизна першої похилої: $I_d/I_t = 45\%$;
- крутизна другої похилої: $I_d/I_{t2} = 65\%$;
- точка зміни крутизни: $SLP = 4$;

Окремо розглянуто функції реле Seram 80 для контролю трансформаторів струму та напруги.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила устройства электроустановок: Індустрія, 2018. – 888 с.
2. Беркович М.А., Молчанов В.В. Основы техники релейной защиты – М: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
3. Шабад М.А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей – 3-е изд.: СПб: ПЭИПК, 2003. – 350 с.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций:— М.: Энергия, 1975. — 480с.
5. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций: М: Энергоатомиздат, 1990. – 551 с.
6. Тихомиров П.М. Расчёт трансформаторов: - Альянс, 2009. – 526 с.
7. Измерения, защита, управление и контроль Sepam серии 80. Руководство по эксплуатации: – Schneider Electric, 2004. – 176 с.
8. Sepam Merlin Gerin. Серия 80. Каталог: – Schneider Electric, 2004. – 89 с.
9. Дифференциальная защита трансформатора. Код ANSI 87T: – Schneider Electric, 2005. – 162 с.
10. Методика расчета уставок дифференциальной защиты трансформаторов (Sepam T87). Выпуск №9: – Schneider Electric, 2008. – 16 с.
11. Методика расчета уставок защит Sepam. Выпуск №3: – Schneider Electric, 2005. – 70 с.
12. Защита электрических сетей. Руководство по защитах Выпуск №1: – Schneider Electric, 2006. – 68 с.

					141.6111.02.ДБ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		