

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

**Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О.І. Толочко
(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: Підсистема збору оперативної інформації на підстанції 110/10 кВ

Виконав: студент 4 **курсу, групи** ЕК-г-61 (шифр групи)

Плотніков Єгор Дмитрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник старший викладач Настенко Д. В. _____
(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)

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
_____ О.І. Толочко

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 11 ” червня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту

Плотнікову Єгору Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Підсистема збору оперативної інформації на підстанції 110/10 кВ

керівник проекту Настенко Дмитро Васильович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» 04 2020 р. № 1048-с

2. Термін подання студентом проекту 11 червня 2020

3. Вихідні дані до проекту Підстанція 110/10 кВ «Чорак», що розташована за адресою с. Курортное, Республіка Крим, Ленінський р-н.

4. Зміст пояснювальної записки Опис підстанції і розрахунок струмів КЗ. Розрахунок уставок і вибір пристроїв РЗ. Розробка підсистеми збору оперативної інформації

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) ПС 110/10 «Чорак», Засоби релейного захисту, Основні алгоритми програм

6. Консультанти розділів проекту (роботи)^{1□}

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	Пошук методичних матеріалів та джерел інформації	10.03.2020	
2	Розробка вимог до підсистеми збору оперативної інформації	11.03.2020	
3	Реалізація протоколу передачі даних та підсистеми збору оперативної інформації	12.04.2020	
4	Вибір основного обладнання на підстанції	20.04.2020	
5	Модулювання схеми підстанції у PowerFactory	10.05.2020	
6	Розрахунок струмів КЗ та уставок релейного захисту	15.05.2020	
7	Оформлення графічної частини	10.06.2020	
8	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2020	
9	Попередній захист	11.06.2020	

Студент

_____ (підпис)

_____ Є.Д. Плотніков (ініціали, прізвище)

Керівник проекту

_____ (підпис)

_____ Д.В. Настенко (ініціали, прізвище)

¹ * 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	141.3120.014.ДБ	Пояснювальна записка	56	
3	A3	141.3120.015.ТК1	ПС 110/10 «Чорак»	1	
4	A3	141.3120.015.ТК2	Засоби релейного захисту	1	
5	A3	141.3120.015.ТК3	Основні алгоритми програм	1	

					141.3120.014.ДБ		
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Відомість дипломного проекту		
Розроб.		Плотніков Є.Д		11.06			
Перевір.		Настенко Д.В		11.06			
Реценз.							
Н. Контр.		Настенко					
Затверд.		Толочко			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-61		
					Арк.	Арк.	Аркуші
						3	1

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: « Підсистема збору оперативної інформації
на підстанції 110/10 кВ »

Київ-2020 року

РЕФЕРАТ

Бакалаврська дипломна робота складається з основної частини та 3 аркушів креслення. В свою чергу, пояснювальна записка складається з 57 сторінок, 4 Таблиць, 16 рисунків, 13 бібліографічних найменувань за переліком посилань та складається з 3 основних розділів.

Мета дослідження – Розробка програми для полегшення налагоджувальних робіт пристроїв РЗ та дослідження їх роботи без ризику пошкодити їх.

Об’єкт дослідження – Пристрій релейного захисту REU611 на підстанції 110/10 кВ.

Предмет дослідження – Розроблення емулятора пристрою релейного захисту і налагодження каналу комунікації по протоколу ModbusTCP.

Результати роботи – Успішно розроблено програми, які імітують роботу пристрою релейного засобу, керують їм й обмінюються даними з ним.

Ключові слова: ПІДСТАНЦІЯ 110/10, MODBUS, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, TCP/IP, ІМІТАЦІЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ РЗ.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						5
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of the main part and 3 sheets of drawings. In turn, the explanatory note consists of 57 pages, 4 Tables, 16 figures, 13 bibliographic names according to the list of references and consists of 3 main sections.

The aim - Development of a program to the commissioning of relay protection devices and learn them without the risk of damaging them.

Object of study- Relay protection device REU611 at 110/10 kV substation.

Subject of research - Development of the emulator of the relay protection device and adjustment of the communication channel according to the ModbusTCP protocol.

The results of work - Successfully developed programs that simulate the work of the relay device, control it and exchange data with it.

Key words: SUBSTATION 110/10, MODBUS, RELAY PROTECTION, TCP / IP, SIMULATION OF RP DEVICE OPERATION.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						6
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ОПИС ПІДСТАНЦІЇ І РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ.....	11
1.1 Опис підстанції 110/10 кВ.....	11
1.2 Склад основного обладнання підстанції.....	12
1.2.1 Силові трансформатори.....	12
1.2.2. Вимірювальні трансформатори струму та напруги.....	14
1.2.3. Вимикачі.....	14
1.2.4 Роз'єднувачі.....	16
1.2.5 Розрядники.....	16
1.3 Розрахунок струмів КЗ.....	17
1.3.1 Визначення параметрів схеми заміщення.....	18
1.3.2 Розрахунок струмів короткого замикання.....	19
Висновки.....	21
2 РОЗРАХУНОК УСТАВОК ТА ВИБІР ПРИСТРОЇВ РЗ.....	22
2.1 Вибір захисту шин.....	23
2.1.1 Приклад розрахунку МСЗ для шини 10 кВ.....	24
2.1.2 Приклад розрахунку МСЗ для шини 110 кВ.....	25
2.2 Вибір захисту трансформаторів 110/10.....	25
2.2.1 Приклад розрахунку МСЗ трансформатора.....	26
2.2.2 Приклад розрахунку струмової відсічки трансформатора.....	27
2.3 Вибір захисту фідерів.....	28
2.4 Вибір захисту вводів.....	28
2.4.1 Загальна інформація про пристрій REU611.....	29
2. 4.1.1 Функції захисту.....	30
2. 4.1.2 Застосування.....	30
2. 4.1.3 Опис програмної частини пристрою та взаємодії із іншими пристроями.....	32
2. 4.1.4 Контроль.....	33
2. 4.1.5. Вимірювання.....	34
2. 4.1.6. Рекордер порушень.....	34
2. 4.1.7. Журнал подій.....	35

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						7
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. 4.1.8. Записані дані.....	35
2. 4.1.9. Нагляд за схемою відключення.....	35
2. 4.1.10. Само нагляд.....	36
2. 4.1.11. Контроль доступу.....	36
2. 4.1.12. Входи та виходи.....	36
Висновки.....	37
3 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ОПЕРАТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	38
3.1 Modbus.....	38
3.2 Розробка програми у середовищі .Net.....	42
3.2.1 Розробка протоколу Modbus TCP.....	44
3.2.2 Розробка TCP Server.....	49
3.2.3 Розробка TCP Client.....	51
Висновки.....	52
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	55

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

РЗ — релейний захист

ASCII — Open Systems Interconnection - Взаємозв'язок відкритих систем

RTU — Remote terminal unit - Віддалений блок терміналу

TCP — Transmission Control Protocol - Протокол керування передачею

OSI — Open Systems Interconnection – Взаємозв'язок відкритих систем

CR — Carriage return – Повернення каретки

LF — Line feed – Перевід строки

ВН – Висока напруга

НН – Низька напруга

ПС - Підстанція

РПН – Регулювання під напругою

ПБЗ – Перемикач без збудження

SOC - Secured object control – Управління захищеним об'єктом

HMI – Human- machine interface- Інтерфейс людина - машина

RMS - Remote Manipulator System – Система віддаленого керування

DFT - Discrete Fourier Transform – Дискретне перетворення Фур'є

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						9
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Метою роботи є розробка підсистеми збору оперативної інформації на підстанціях 110/10 кВ. Дана розробка є необхідною для проектування та перевірки систем релейного захисту, адже дозволить без зайвих ризиків попередньо перевіряти реакцію системи на будь-які аварійні ситуації. Розробка дозволить швидко проводити різноманітні дослідження роботи системи у нестандартних ситуаціях без ризику пошкодження дорогого обладнання. Таким чином, проектування і перевірка захисту енергооб'єктів стане простішою, дешевшою та зможе проводитися незалежно від планово-попереджувального ремонту, що значно підвищить якість захисту енергооб'єктів в цілому та підстанцій зокрема.

У якості підсистеми збору оперативної інформації вирішено створити пакет програм, що буде повністю імітувати роботу з приладом захисту по напрузі та частоті фірми «ABB» серії REU611.

Для забезпечення комунікації з приладом було обрано протокол Modbus TCP через простоту його реалізації. Протокол Modbus містить велику кількість функцій, велика кількість з яких виконують функцію перевірки помилок і по своїй суті є діагностичними. Задля спрощення завдання програма буде реалізовувати зчитування/запис даних.

Програми дозволять імітувати роботу з одним або декількома пристроями релейного захисту, контролювати значення, отримані при роботі з іншими програмами, імітувати аварійні режими мережі і реакцію релейного захисту на них, видавати бінарний пакет з необхідною командою а також можуть бути використані на лабораторних роботах у якості навчаючого матеріалу.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						10
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОПИС ПІДСТАНЦІЇ І РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ

Трансформаторна підстанція – це електроустановка, яка збільшує або зменшує напругу в мережі змінного струму. Вона необхідна для того, щоб рівномірно розподіляти електричну енергію на різноманітних об'єктах, а також всередині населеного пункту.

Кожна ПС будується під конкретні умови експлуатації, класи напруги та відповідно до її призначення. Розрізняють такі типи ПС:

1. Підвищувальна ПС. Що зменшують напругу, що на них подається і передають її далі в мережу.
2. Понижувача ПС. Що, навпаки, перетворює первинну, високу, напругу у вторинну, низьку
3. Глибокого введення. Дана підстанція призначена для напруги 35...220 кВ. Як правило, вона отримує напругу від центрального розподільного пункту. Служить для забезпечення енергією великих підприємств;
4. Вузлова розподільча. Така ПС оперує напругами 110...220 кВ та служить розподільчою ланкою для підстанції глибокого вводу. Напругу отримує від енергосистеми;
5. Головні знижувальні. Така підстанція отримує струм від району і розподіляють його по споживачам
6. Тягові підстанції - Забезпечують напругу, необхідну для роботи трамваїв і тролейбусів.

1.1 Опис підстанції 110/10 кВ

Змодельована існуюча ПС “ЧОКРАК”, що знаходиться у с. Курортное, Республіка Крим, Ленінський р-н.

Принципова схема ПС за документацією приведена на кресленні.

					141.3120.014.ДБ			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Опис підстанції і розрахунок струмів КЗ	Арк.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Плотніков Є.Д		11.06				
Перевір.		Настенко Д.В		11.06			11	11
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-61		
Н. Контр.		Настенко						
Затверд.		Толочко						

Підстанція побудована за схемою двох збірних шин, та включає в себе двох обмоткові трансформатори, трьох обмоткові трансформатори, таке комутаційне обладнання як вимикачі, роз'єднувачі, заземлювачі та інше. Також підстанція захищена засобами релейного захисту.

1.2 Склад основного обладнання підстанції

У склад обладнання будь-якої підстанції входять:

1. Трансформатори чи автотрансформатори;
2. Вимірювальні трансформатору струму та напруги;
3. Розподільчі установки. Він розподіляє вхідну електроенергію по окремим ланцюгах, тим самим зменшуючи напругу в головному ланцюгу;
4. Силовий трансформатор. Щоб забезпечити безпеку електроенергії використовують даний прилад, він здатний перетворити одну систему трифазного струму в іншу;
5. Апаратура керування. Автоматичне управління забезпечує постійне значення частоти струму на тому рівні, який необхідний;
6. Захисні пристрої. Їх застосовують для силових ліній і підтримки всієї трансформаторної підстанції.

Трансформатор на підстанції оперує потужністю до 10 МВт та розташований на відкритій, огороженій території, яку, за рахунок конструкції обладнання можна чітко розділити на дві сторони:

- Сторона ВН — 110кВ;
- Сторона НН — 10 кВ.

Сторона ВН через ЛЕП з'єднується з іншою підстанцією, що має ще більші габарити та оперує великими енергетичними потоками.

1.2.1 Силові трансформатори

Силовий трансформатор це прилад мінімум з двома обмотками, що за допомогою індукції перетворює певні значення напруги і струму у, як правило, інші значення за тієї ж частоти.

Основними його елементами є:

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						12
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Корпус
- Магнітопровід
- Обмотки ВН
- Обмотки НН
- Виводи
- Охолоджувачі
- Обладнання для регулювання напруги (РПН або ПБЗ)

Також можна виділити додаткове навісне обладнання:

- Газове реле
- Вмонтовані трансформатори струму
- Пристрої безперервної регенерації масла
- Пристрої скидання тиску

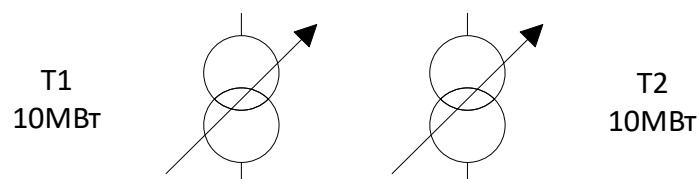


Рисунок 1.1 - Силові трансформатори на схемі

На підстанції встановлено 2 силові трансформатори потужністю 100 МВА, каталожні данні яких приведено у таблиці 1.1. Це зроблено задля забезпечення відносно безперебійного надання електроенергії споживачам.

Відповідно до норм експлуатації, трансформатори, за необхідністю, можуть бути завантажені не більш ніж на 140%. Тому під час проектування підстанції обладнання обрано таким чином, щоб при нормальному режимі роботи кожен з трансформаторів був завантажений не більш ніж на 70%.

Таким чином, у після аварійному режимі з'являється можливість перекинути споживачів з пошкодженого трансформатора на цілий на час заміни або ремонту пошкодженого трансформатора, не порушуючи умов експлуатації.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						13
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1- Каталожні дані силових трансформаторів 110/10кВ

Тип	S _{ном} , МВА	U _{ном} , кВ		U _к , %	dP _к , кВт	dP _х , кВт	I _х , %
		ВН	НН				
ТДЦ- 10000/110	10	115	11	10,5	350	60	1

ТДЦ- силовий трифазний трансформатор з охолодженням по принципу примусово' циркуляції повітря і масла з ненаправленим потоком масла.

1.2.2 Вимірювальні трансформатори струму та напруги

Вимірювальні трансформатори призначені для вимірювання та пересилання вимірюваної інформації вимірювальним приладам, лічильникам та пристроям захисту.

Такі трансформатори перетворюють струм або напругу до значень, що будуть зручними для вимірювань. Їх підключають у коло послідовно, у випадку, коли необхідно виміряти струм, або паралельно, у випадку, коли необхідно виміряти напругу.

Оскільки вимірювальні трансформатори часто застосовуються у зв'язку з пристроями релейного захисту, на них накладено високі вимоги до точності.

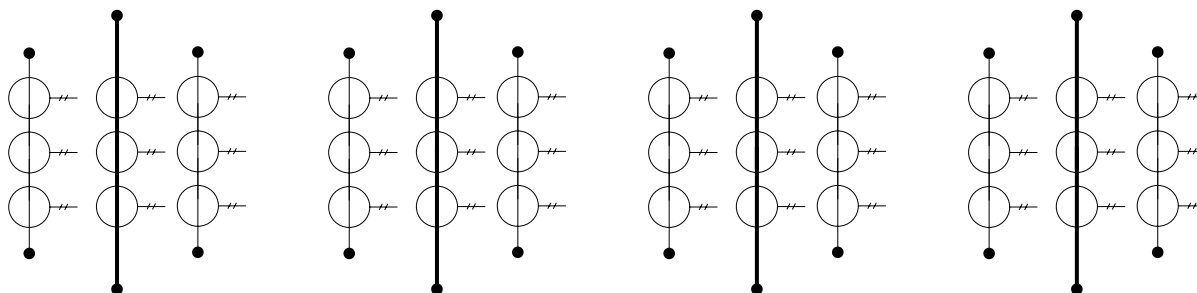


Рисунок 1.2 - Вимірювальні трансформатори на схемі.

1.2.3 Вимикачі

Вимикачі — комутаційні апарати, призначені для оперативного вмикання та вимикання електрообладнання або окремих електричних кіл в енергосистемі в нормальних чи аварійних режимах при дистанційному, ручному або автоматичному керуванні.

Зазвичай вимикачі керуються системами релейного захисту, вимикаючи або вмикаючи пошкоджену ділянку відповідно до установок, встановлених на пристрої релейного захисту.

Таблиця 1.2 - Каталожні дані вимикачів

Тип вимикача	ВГБ-110У1	ВР0
Номинальна напруга, кВ	110/126	10 / 12
Номинальний струм, А	2000	630, 800
Номинальний струм вмикання, кА	40	12,5
Власний час вмикання, с	0,035	0.029-0.042
Власний час увімкнення, с	0,1	0,09
Повний час вмикання, с	0,06	0,57
Кількість розривів на фазу	1	1
Нижня межа надлишкового тиску елегазу при 20 °С, Мпа	0,35	-
Номинальна частота, Гц	50	50
Тип приводу	гідравлічний	вакуумний
Вбудовані трансформатори струму	ТВ-110	-

ВГБ-110 — вимикачі елегазові баковий

ВР0 — вакуумний вимикач

1.2.4 Роз'єднувачі

Роз'єднувачі- комутаційні апарати, призначені для вимкнення та увімкнення попередньо знеструмленого електричного кола під напругу.

Роз'єднувачі застосовуються у високовольтних розподільчих пристроях для забезпечення проведення безпечних профілактичних та ремонтних робіт або заміни елементів електричної мережі. Також роз'єднувачі застосовуються для перемикання електричних ліній з одної секції шин на іншу та для ділення шин на секції.

Роз'єднувачами на станціях 110 кВ оперують, як правило, вручну при відсутності напруги.

Заземлювачі, встановлені на підстанції, зазначено у табл. 1.3

Таблиця 1.3 - Каталожні дані роз'єднувачів

Тип	РДЗ-1- 110/1000	РЛНД (з) 10/400
Номінальна напруга, кВ	110	10
Максимальна напруга, кВ	126	12
Номінальний струм, А	1000	400
Кількість заземлювачів	1	1

РДЗ-1-110/1000 — двох колонковий заземлювач з 1 заземлюючим ножом.

РЛНД (з) 10/400 — лінійний двох колонковий роз'єднувач з заземлюючими ножами.

1.2.5 Розрядники

Розрядники — пристрої, що містять 2 чи більше електродів, призначені для обмеження перенапруги, шляхом розрядження за умови перенапруги, що використовується для захисту електричного обладнання від перенапруги, викликаной розрядом блискавки, або аварійним режимом мережі

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 1.3 - Каталогні дані розрядників

Тип	РВС-110	РВО-10
Номинальна напруга, кВ	102	10
Клас напруги, кВ	110	10
Пробивна напруга, кВ	200-250	26-30.5

РВС-110 — розрядник вентиляний стаціонарний

РВО-10 Н — розрядник вентиляний полегшений, підвищеної надійності

1.3 Розрахунок струмів КЗ

Змодельуємо спрощену схему у системі PowerFactory:

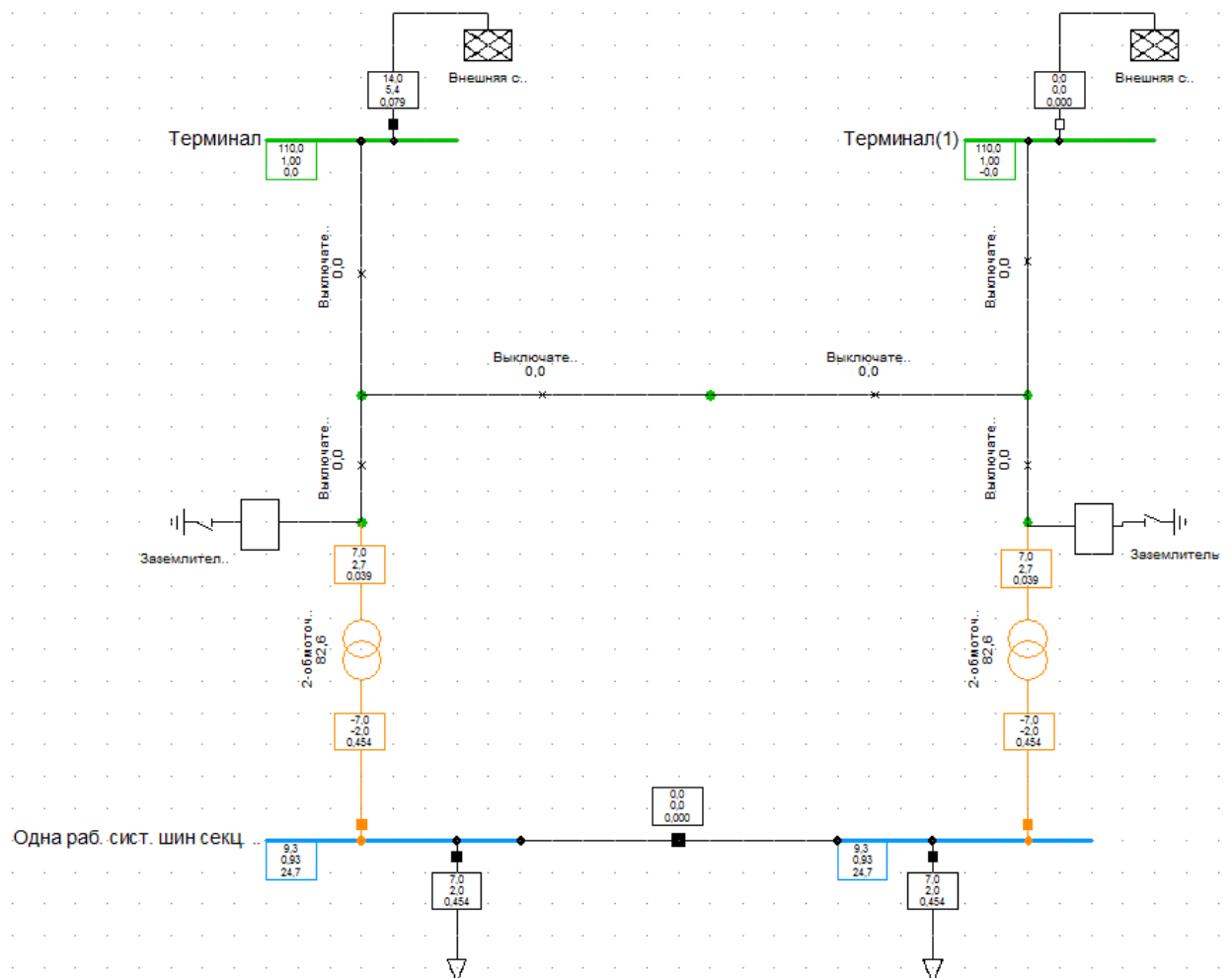


Рисунок 1.3 - Спрощена схема ПС 110/10

1.3.1 Визначення параметрів схеми заміщення

Не зважаючи на наявність проводів, що йдуть від шини до трансформатора я вважаю що розрахувати їх опір неможливо через відсутність даних щодо марки та довжини цих проводів. Приймаючи до уваги доволі малі відстані від шин до трансформатора є доцільним знехтування опорами цих проводів.

Таким чином схему на рис 1.4 можна спростити далі до наступного вигляду:

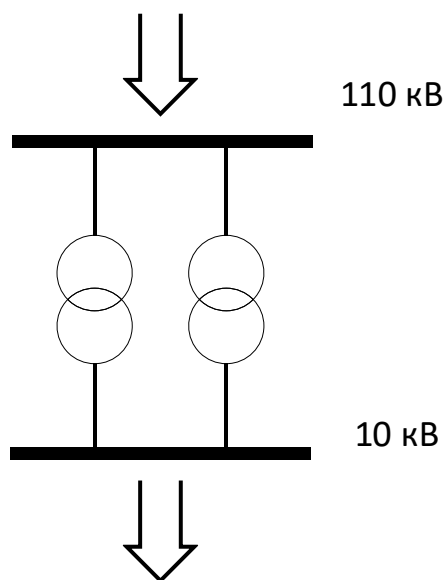


Рисунок 1.4 - Схема для розрахунків струмів короткого замикання

Таким чином отримуємо наступну схему заміщення:

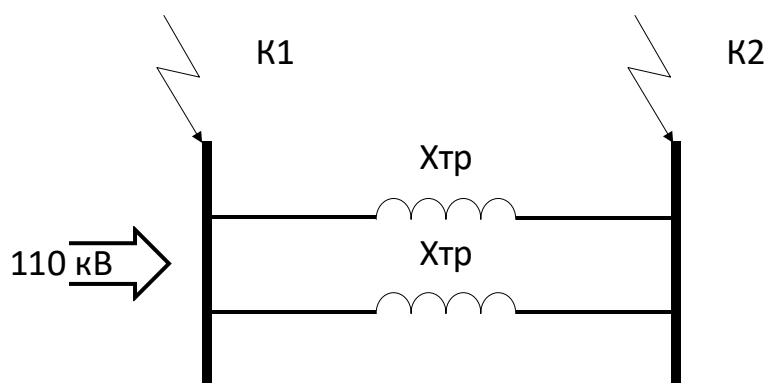


Рисунок 1.5 - Схема заміщення

Для спрощення схеми на рис. 1.5 до вигляду схеми 1.6 необхідно:

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						18
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

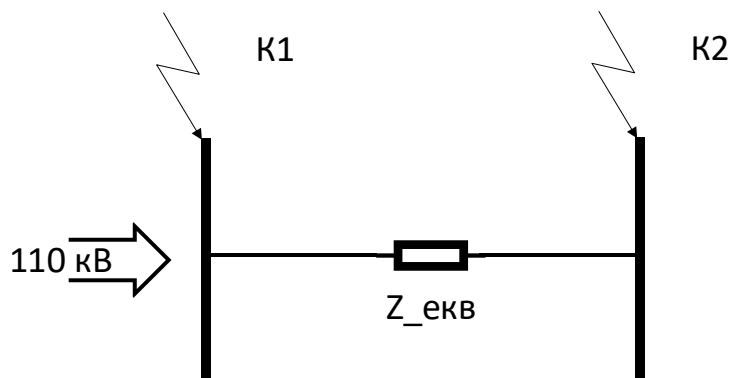


Рисунок 1.6 - Спрощена схема заміщення

Таким чином:

$U_k = 10.5 \%$ Напруга короткого замикання трансформатора

$U_n = 110 \text{ кВ}$ Номінальна напруга ВН трансформатора

$S_n = 10000 \text{ кВА}$ Номінальна потужність трансформатора

Розрахуємо опір трансформатора на схемі заміщення:

$$Z_{tr} = 10 \times \frac{U_k \times U_n^2}{S_n}$$

$$Z_{tr} = 10 \times 10.5 \times 110 \times 110 / 10000 = 127.05 \text{ Ом}$$

Розрахуємо еквівалентний опір схеми:

$$Z_{ekv} = \frac{Z_{tr} \times Z_{tr}}{Z_{tr} + Z_{tr}}$$

$$Z_{ekv} = 127.05 \times 127.05 / (127.05 + 127.05) = 63.525 \text{ Ом}$$

1.3.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Струм короткого замикання у точці K2:

$S_b = 20000 \text{ кВА}$ Базисна потужність

$$I_{kz} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \times Z_{ekv} \times U_n}$$

$$I_{kz} = 20000 / (1.7321 \times 63.525 \times 110) = 1.652 \text{ кА}$$

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Беручи до уваги, що еквівалентний опір схеми для точки КЗ К1 прямує до 0, то $I_{\text{кз}}$ буде прямувати до безкінечності.

Також проведемо розрахунок струмів короткого замикання у PowerFactory, схема та результати якого приведені на рис. 1.8 та рис. 1.9

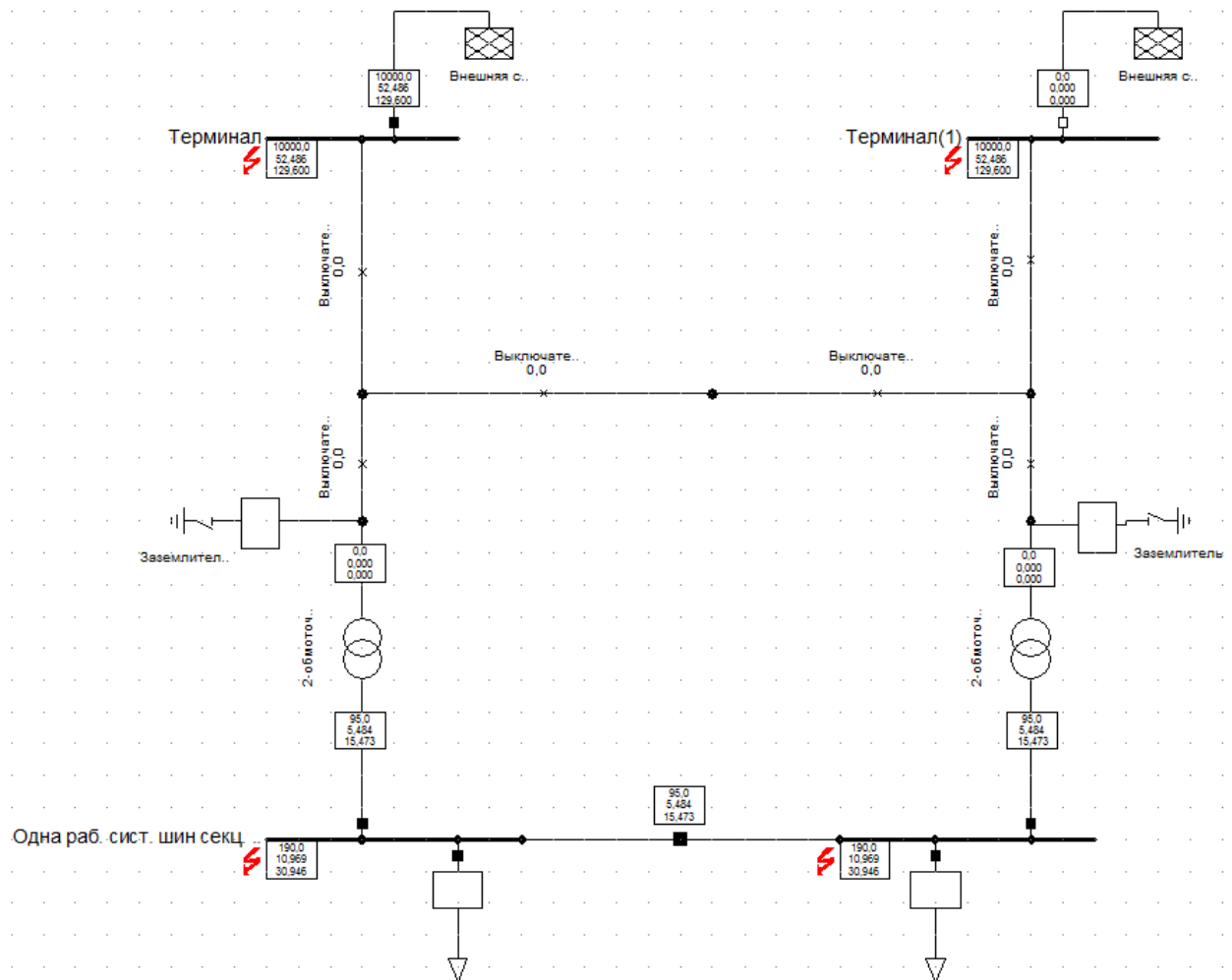


Рисунок 1.7 - Емуляція короткого замикання у системі, змодельованій у PowerFactory

				DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Проект : Дата: 13.06.2020					
Места повреждений с фидерами											
Расчет КЗ				/ Метод : VDE 0102				3-фазное КЗ / Макс. токи КЗ			
Асинхронные двигатели Всегда учитывать				Идентификация сети Автоматически				Длительность короткого замыкания Время откл. 0,10 s Время КЗ (Ith) 1,00 s			
Апериодическая составляющая (idc) Используя метод В				Температура проводника Предопределена пользователем				Коеф. напряжения с Предопределен пользователем Нет			
Сеть: Сеть											

Рисунок 1.8 - Результаты розрахунку короткого замыкания за допомогою PowerFactory

Висновки

У розділі було описано склад трансформаторної підстанції 110/10 кВ “Чорак” та обрано такі її частини як силові трансформатори, вимикачі, роз’єднувачі та розрядники.

Також було розраховано параметри схеми заміщення та розраховано струми КЗ двома способами:

- Вручну
- За допомогою програмного комплексу PowerFactory.

2 РОЗРАХУНОК УСТАВОК ТА ВИБІР ПРИСТРОЇВ РЗ

В енергетичних мережах та системах на електроустаткуванні та на обладнанні споживачів електроенергії часто виникають ушкодження, що призводять до виходу системи в аварійні режими.

Аварійні режими, спричинені ушкодженнями супроводжуються сильним зниженням напруги й значним збільшенням сили струму в елементах енергосистеми.

Високий струм, у випадках, коли обладнання не призначене для роботи з ним, стає причиною виділення великої кількості тепла, що, в свою чергу, викликає руйнування обладнання в місці ушкодження, й небезпечно нагрівання неушкоджених ліній, через котрий цей струм проходить, що, в свою чергу, призводить до зменшення експлуатаційного строку обладнання, а також може призвести до пошкодження ізоляції проводів, що може призвести до пошкодження іншого обладнання.

Зниження напруги, у свою чергу, порушує стійкість паралельної роботи генераторів і енергосистеми в цілому та порушує нормальну роботу споживачів електроенергії й.

Аварійні режими приводять до відхилення величин напруги, струму й частоти від нормальних значень, що є номінальними. При зниженні напруги й частоти створюється небезпека порушення нормальної роботи споживачів і стійкості енергосистеми, а підвищення напруги й струму, як було вказано вище, загрожує ушкодженням складного та дорогого обладнання та ліній електропередачі. Таким чином, ми можемо зробити висновок що для забезпечення нормальної роботи споживачів електроенергії й енергетичної системи необхідно швидко виявляти й ліквідувати аварійний режим, відокремлюючи місце ушкодження від неушкодженої ділянки мережі, виводячи таким чином систему у після аварійний режим роботи.

					141.3120.014.ДБ		
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розроб.		Плотніков Є.Д		11.06	Розрахунок уставок та вибір пристроїв РЗ	Арк.	Арк.
Перевір.		Настенко Д.В		11.06		22	16
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-61	
Н. Контр.		Настенко					
Затверд.		Толочко					

Вчасно виявляючи відхилення основних параметрів режиму від їх номінальних значень вживаючи необхідні засоби для їх усунення небезпечні наслідки аварійних режимів можна запобігти.

Ось декілька варіантів як це можна зробити:

- Вчасно знижувати струм, при його надмірному зростанні
- Підвищуючи напругу при її зниженні.

У зв'язку із цим і виникає необхідність у створенні й застосуванні автоматичних обладнань, що виконують зазначені операції й для захисту системи і її елементів від небезпечних наслідків ушкоджень і ненормальних режимів. Спочатку в якості захисних обладнань застосовувалися плавкі запобіжники. Однак у міру зросту потужності й напруги електричних установок і ускладнення їх схем комутації, такий спосіб захисту став недостатнім, у силу чого були створені захисні обладнання, створені за допомогою спеціальних автоматів – реле, що одержали назву релейного захисту. Релейний захист – це комплекс автоматичних обладнань, призначених для швидкого виявлення й відділення від електроенергетичної системи ушкоджених елементів цієї системи.

2.1 Вибір захисту шин

У якості захисту шин був обраний пристрій REB 670 IED (Intelligent Electronic Device) призначений для захисту шин в високовольтних мережах. Прилад має можливість використання великої кількості входів/виходів, тому REB 670 може застосовуватись для захисту шин з різними схемою з'єднань дві системи шин без обхідної системи шин. Він забезпечує селективну, надійну та швидку локалізацію всіх можливих типів внутрішніх пошкоджень, в тому числі між фазних пошкоджень і замикань на землю в мережах з глухо заземленою або заземленою через малий опір нейтраль. Також він захищає шини від між фазних пошкоджень в мережах з ізолюваною або заземленою через великий опір нейтраль.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рисунок 2.1 - REB 670

2.1.1 Приклад розрахунку МСЗ для шини 10 кВ

Для розрахунку уставок нам необхідно визначити декілька констант

$k_n = 1.2$ Коефіцієнт надійності

$k_{sp} = 1.3$ Коефіцієнт само запуску двигунів

$k_p = 1$ коефіцієнт повернення

$S_{nom} = 10000$ кВА Номінальна потужність встановленого трансформатора

$U_{nom} = 10$ кВ Номінальна напруга

Номінальний струм розраховуємо відносно 70% потужності встановленого трансформатора.

$$I_{nom} = \frac{0.7 \times S_{nom}}{U_{nom}}$$

$$I_{nom} = 0.7 \times 10000 / 110 = 700 \text{ кА}$$

$$I_{sz} = \frac{k_n \times k_{sp}}{k_p}$$

$$I_{sz} = (k_n \times k_{sp} / k_p) \times 1.4 \times I_{nom} = 1529 \text{ кА}$$

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						24
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2 Приклад розрахунку МСЗ для шини 110 кВ

$k_n = 1.2$ Коефіцієнт надійності

$k_{sp} = 1.3$ Коефіцієнт само запуску двигунів

$k_p = 1$ коефіцієнт повернення

$S_{nom} = 10000$ кВА Номінальна потужність встановленого трансформатора

$U_{nom} = 10$ кВ Номінальна напруга

Номінальний струм розраховуємо відносно 70% потужності встановленого трансформатора.

$$I_{nom} = \frac{0.7 \times S_{nom}}{U_{nom}}$$

$$I_{nom} = 0.7 \times 10000 / 110 = 63.636 \text{ кА}$$

$$I_{sz} = \frac{k_n \times k_{sp}}{k_p}$$

$$I_{sz} = (k_n \times k_{sp} / k_p) \times 1.4 \times I_{nom} = 138.982 \text{ кА}$$

2.2 Вибір захисту трансформаторів 110/10

На трансформаторах потужністю від 1 МВА у якості захисту від струмів в обмотках, зумовленими зовнішніми короткими замиканнями, має бути розрахований і встановлений МСЗ з дією на відключення. Додатково необхідно встановити струмову відсічку та передбачити повздовжній диференційний струмовий захист без витримки по часу. Для захисту будемо обирати пристрої марки АВВ з такими функціями як:

- диференційний струмовий захист
- максимальний струмовий захист
- струмова відсічка

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						25
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості релейного захисту був обраний пристрій RET650, оскільки у приладі реалізовані стандартні рішення для захисту трансформаторів з двома обмотками, включаючи функції регулювання напруги одиночного трансформатора. Крім цього, відокремлений блок регулювання напруги може управляти двома паралельно працюючими трансформаторами, що дозволить дещо зекономити на побудові даної підстанції, та виконувати функцію резервного захисту.



Рисунок 2.2 - RET650

2.2.1 Приклад розрахунку МСЗ трансформатора

Струм спрацювання МСЗ трансформатора:

$k_{ns} = 1.2$ Коефіцієнт надійності узгодження захистів

$n_t = 100$ Коефіцієнт трансформації

$$I_{msz} = k_{ns} \times \frac{I_{sz}}{n_t}$$

$$I_{msz} = 1.2 * 138.982 = 1.668 \text{ кА}$$

Струм уставки цифрового пристрою релейного захисту:

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						26
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$k_{sx} = 1$ Коефіцієнт схеми

$$I_y = \frac{I_{msz} \times k_{sx}}{n_t}$$

$$I_y = 1.668 \times 1 / 100 = 0.017 \text{ кА}$$

За обраним струмом уставки розраховується дійсне значення первинного струму спрацювання захисту:

$$I_{dsz} = \frac{I_y \times n_t}{k_{sx}}$$

$$I_{dsz} = 0.017 \times 100 / 1 = 1.668 \text{ кА}$$

2.2.2 Приклад розрахунку струмової відсічки трансформатора

За умовою селективності струм спрацювання відсічки вибирається більшим максимального струму КЗ в кінці зони захисту.

$k_n = 1.2$ Коефіцієнт надійності

$U_{vn} = 115 \text{ кВ}$ напруга ВН силового трансформатора

$U_{nn} = 11 \text{ кВ}$ напруга НН силового трансформатора

$$n_t = \frac{U_{vn}}{U_{nn}}$$

$$n_t = 115 / 11 = 10.455$$

$k_{sx} = 1$ Коефіцієнт схеми

$$I_{sv} = \frac{k_n \times k_{sz}}{n_t}$$

$$I_{sv} = 1.2 \times 138.982 = 15.953 \text{ кА}$$

$$I_{uv} = \frac{I_{sv} \times k_{sx}}{n_t}$$

$$I_{uv} = 15.953 \times 1 / 10.455 = 1.526 \text{ кА}$$

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						27
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вибір захисту фідерів

У якості захисту фідерів був обраний пристрій REF615. Це пристрій, призначений для використання у якості основного максимально струмового захисту та захисту від замикань на землю повітряних та кабельних ліній у мережах з ізольованою нейтраллю, нейтраллю, ізольованою через резистор, з компенсованою або ефективно заземленою нейтраллю, в залежності від конфігурації, що використовується.



Рисунок 2.3 - REF615

2.4 Вибір захисту вводів

Прилад REU611 призначений для захисту від підвищення і пониження напруги, для захисту по напрузі прямої / оберненої послідовності, захисту від

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						28
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення напруги нульової послідовності. Також пристрій має додатковий двох ступінчатий захист по частоті. Не зважаючи, на обрані вище прилади, REU611 міг би використовуватись для захисту по частоті трансформаторів, шин і фідерів.

Прилад підтримує стандарт MEK 61850 для зв'язку і взаємодії приладів на підстанції, включаючи MEK 61850-9-2 LE. Крім того, REF615 підтримує обидва протоколи паралельного розгортання: протокол PRP та протокол «безшовного резервування високої доступності» (HSR). Цей пристрій також підтримує протоколи DNP3, МЭК 60870-5-103 та Modbus.

2.4.1 Загальна інформація про пристрій REU611

REU611 - це реле захисту напруги, попередньо налаштоване на захист по нарузі та частотний захист у підстанціях та промислові енергосистеми. Реле використовується для захисту найрізноманітніших пристроїв, включаючи шину, силовий трансформатор, двигун та конденсаторні батареї.

REU611 є членом сімейства продуктів Relion ABB та його частини із серії продуктів 611 захисту та контролю. Серія 611 реле характеризуються своєю компактною конструкцією.

Реле серії 611 повністю підтримують стандарт IEC 61850 для зв'язку та сумісності автоматизації підстанцій.

Реле додатково підтримують паралельне резервування за протоколом (PRP) та бездоганне надмірне резервування за (HSR) протоколом. Реле 611 серії можуть використовувати протокол IEC 61850 та протоколи зв'язку Modbus одночасно.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 2.4 - REU611

2.4.1.1 Функції захисту

REU611 призначений для нагляду за напругою в шинах. Він також може використовуватися для захисту від надмірної та недостатньої частоти, захисту генераторів живлення та іншого обладнання змінного струму, наприклад, конденсаторної батареї, що потребують захисту.

2.4.1.2 Застосування

REU611 призначений для використання в розподільних пристроях середньої напруги та поставляється із спеціалізованою кабінкою вимірювання напруги.

Реле забезпечує нагляд за перенапругою та перенапругою шини, мережевий нагляд за залишковою напругою та частотою.

У генераторних та моторних додатках реле забезпечує додатковий захист шляхом виявлення будь-яких відхилень від дозволених значень частоти та напруги.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

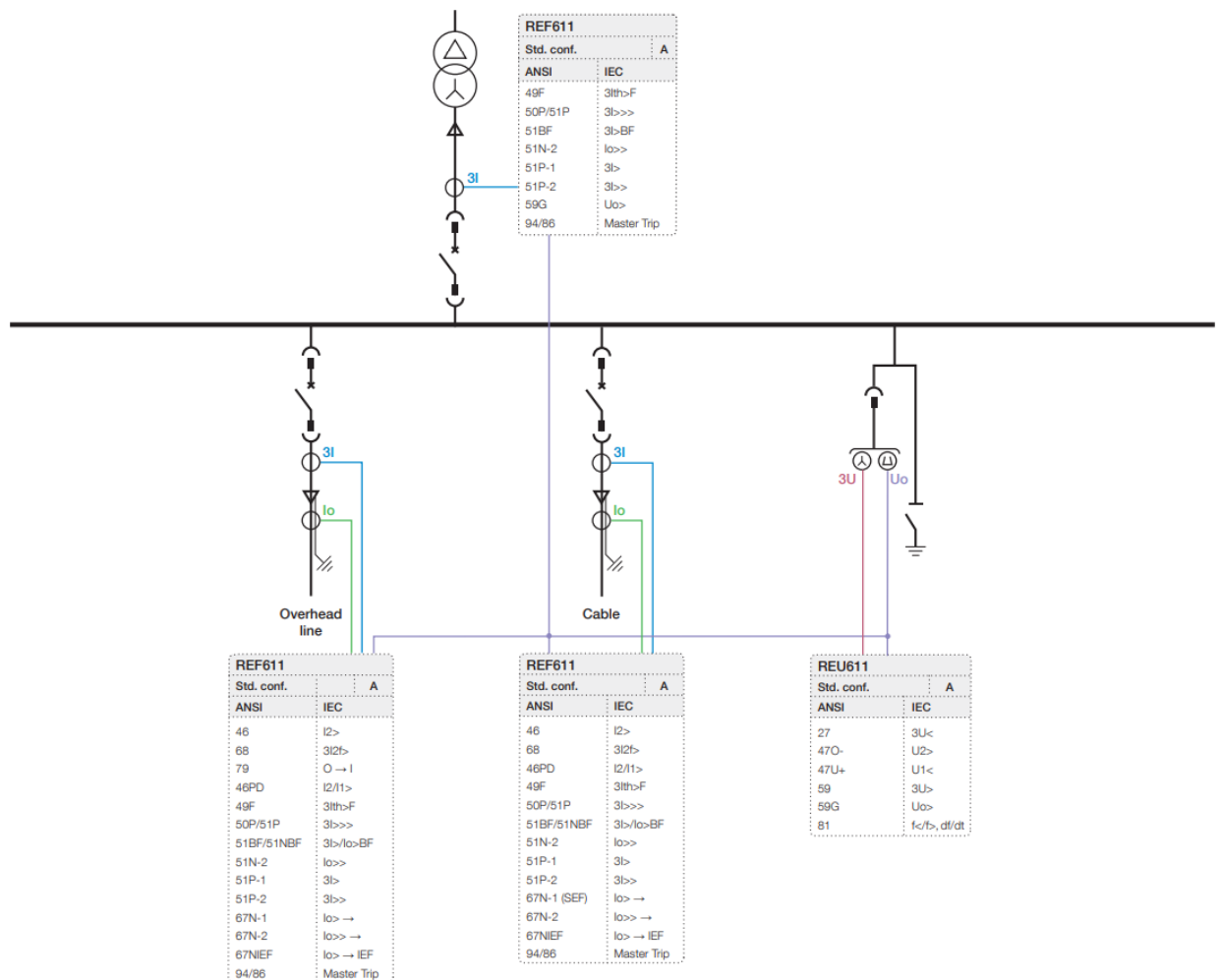


Рисунок 2.5 - Захист шини

На рис. 2.5 показаний приклад захисту та нагляду за шиною в якому реле встановлено в окремій вимірювальній кабіні по фазовій напрузі, залишковій напрузі, а також від низьких частот. Якщо кабінка обладнана керованим комутаційним пристроєм для заземлення шини або обладнана вимикачем - реле можна використовувати для керування цим пристроєм.

З додатковим входом для вимірювання фазової напруги можна вимірювати фазову напругу від іншої шини або зі сторони низької напруги встановленого силового трансформатора та передавати це значення «вище стоячому» пристрою, що дозволить урахувати це значення при прийнятті автоматичного рішення щодо відключення певних вимикачів, або просто надсилати дану інформацію для опрацювання до підрозділу управління підстанцією.

2.4.1.3 Опис програмної частини пристрою та взаємодії із іншими пристроями

Захисні реле серії 611 разом із блоком управління підстанціями COM600S є гарним рішенням IEC 61850 для надійного розподілу електроенергії в комунальних та промислових енергосистемах. Для полегшення інженерії системи реле ABB постачаються з пакетами підключення. Пакети підключення включають компіляцію програмного забезпечення та інформації, що стосується ретрансляції, та повної моделі ретрансляційних даних. Модель даних включає списки подій та параметрів. За допомогою пакетів підключення реле можна легко налаштувати за допомогою PCM600 та інтегрувати з COM600S або мережевою системою управління та управління MicroSCADA Pro.

Реле серії 611 пропонують вбудовану підтримку стандарту IEC 61850, включаючи обмежене використання бінарних повідомлень GOOSE.

У порівнянні з традиційними провідними зв'язком між пристроями, одноранговий зв'язок по комутованій локальній мережі Ethernet пропонує вдосконалену і універсальну платформу для захисту енергосистеми. Впровадження стандарту автоматизації підстанцій IEC 61850 дозволяє отримати доступ до різноманітних функцій, включаючи швидке програмне забезпечення зв'язку, постійний нагляд за цілісністю системи захисту та зв'язку, а також властиву гнучкість для налаштування та оновлення.

На рівні підстанцій COM600S використовує вміст даних пристроїв для підвищення рівня функціональності підстанцій.

COM600S оснащений HMI (human-machine interface) на базі веб-браузера, який забезпечує настроюваний графічний дисплей для візуалізації однолінійних імітаційних діаграм для рішень для розподільних пристроїв. Веб-HMI COM600S також забезпечує огляд всієї підстанції, включаючи релейні діаграми, характерні для реле, що робить інформацію легко доступною. Пристрої та процеси підстанцій також можуть бути доступними

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						32
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

через Web HMI, що забезпечує підвищений рівень надійності та безпеки для персоналу.

Крім того, COM600S може використовуватися як локальне сховище даних для технічної документації підстанції та мережевих даних, зібраних пристроями. Зібрані мережеві дані полегшують звітність та аналіз різноманітних ситуацій у мережі, використовуючи історичні дані та функції обробки подій COM600S. Історичні дані можуть бути використані для точного моніторингу продуктивності технологічного процесу та обладнання, використовуючи розрахунки, засновані як на значеннях у режимі реального часу, так і на історичних даних. Краще розуміння динаміки процесу досягається за рахунок поєднання вимірювань процесу, заснованих на часі, з подіями виробництва та обслуговування.

COM600S також може функціонувати як шлюз і забезпечувати безперебійне з'єднання між пристроями підстанції та системами управління та управління мережевого рівня, такими як MicroSCADA Pro та System 800xA.

2.4.1.4 Контроль

Реле здатне управляти одним вимикачем або контактором за допомогою спеціальної кнопки для відкривання та закриття через локальний HMI або віддалену систему, наприклад, зазначену у пункті 3.1.3 COM600S.

За замовчуванням реле оснащено одною вхідною схемою блокування. Бінарні GOOSE-повідомлення можуть бути використані у створенні додаткових схем блокування, таких як SOC, схем захисту на основі блокування або зовнішні переривання.

Ці додаткові схеми захисту та контролю вимагають конкретних програм, які конфігуруються за допомогою локального HMI, Веб-HMI або додаткових функціональних додатків PCM600.

Місцевий HMI та веб-HMI можуть використовуватися для конфігурації сигналів, тоді як для конфігурації GOOSE-повідомлення потрібен PCM600.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						33
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.1.5 Вимірювання

Реле постійно вимірює фазові напруги та залишкові напруги. До вимірюваних значень можна отримати доступ через локальний НМІ або віддалено через комунікаційний інтерфейс реле. Також можна отримати доступ до значень локально або віддалено за допомогою Web НМІ.

2.4.1.6 Рекордер порушень

Реле оснащено рекордером збурень, що оснащено попередньо налаштованими аналоговими та бінарними каналами. Аналогові канали може бути встановлено для запису даних або у форми синусоїдального сигналу, або тенденції сигналу напруги, що вимірюється.

Також аналогові канали можуть бути налаштовані для запуску функції запису у момент часу, коли виміряне значення опускається нижче або перевищує встановлені значення.

Двійкові сигнальні канали можуть бути встановлені для початку запису при одній з двох подій:

1. Падіння сигналу.
2. Зростання сигналу

Це означає що прилад може бути налаштований таким чином, що тригером початку запису певної події буде зміна сигналу від одиниці до нуля у першому випадку та від нуля до одиниці у другому.

За замовчуванням двійкові канали встановлюються для запису зовнішніх або внутрішніх релейних сигналів, наприклад, від інших реле, зовнішніх блокуючих сигналів або керуючих сигналів.

Бінарні релейні сигнали, такі як сигнали початку та відключення захисту, або зовнішній сигнал управління реле через бінарний вхід, можуть бути встановлені для запуску запису. Записана інформація зберігається в енергонезалежній пам'яті і може бути завантажена для подальшого аналізу несправностей.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

2.4.1.7 Журнал подій

Для збору інформації про послідовність подій реле має енергонезалежну пам'ять, здатну зберігати 1024 події з відповідними часовими марками. Енергонезалежна пам'ять зберігає свої дані, навіть якщо реле тимчасово втрачає своє допоміжне джерело. Журнал подій сприяє детальному аналізу до несправностей та порушень подачі та після виходу з ладу. Значна спроможність обробляти та зберігати дані та події в реле сприяє задоволенню зростаючого попиту на інформацію щодо майбутніх конфігурацій мережі.

Інформація про послідовність подій може бути доступна або через місцевий HMI, або віддалено через комунікаційний інтерфейс реле. Інформація також може бути доступна локально або віддалено за допомогою Web HMI.

2.4.1.8 Записані дані

Реле має можливість зберігати записи про 128 останніх пошкоджень. Записи можна використовувати для аналізу подій енергосистеми. Кожен запис включає, наприклад, значення напруги та кута та часову позначку. Запис несправностей може бути ініційований сигналом початку або відключення блоку захисту або обома. Доступні режими вимірювання включають DFT та RMS. Записи несправностей зберігають значення вимірювальних реле в момент запуску будь-якої функції захисту. Записи зберігаються в енергонезалежній пам'яті.

2.4.1.9 Нагляд за схемою відключення

Контроль схеми поїздки постійно контролює наявність та роботу схеми відключення. Він забезпечує дві функції моніторингу відкритого контуру, які можна використовувати для контролю за ланцюгами керування сигналом вимикача. Він також виявляє втрату керуючої напруги вимикача.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						35
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.1.10 Само нагляд

Вбудована система само нагляду реле постійно контролює стан апаратного реле та роботу ретрансляційного програмного забезпечення. Будь-яка виявлена несправність або несправність використовується для оповіщення оператора.

Постійна несправність реле блокує функції захисту, щоб запобігти неправильній роботі.

2.4.1.11 Контроль доступу

Щоб захистити реле від несанкціонованого доступу та зберегти цілісність інформації, ретрансляція забезпечена системою з чотирма рівнями автентифікації на основі ролей з індивідуально налаштованими адміністратором паролями для рівня перегляду, оператора, інженера та адміністратора. Контроль доступу застосовується до локальних НМІ, веб-НМІ та РСМ600.

2.4.1.12 Входи та виходи

Реле оснащено трьома фазовими входами напруги та одним вхідним залишковим напругою. Крім того, передбачений один вхід фазової напруги для вимірювання напруги на дальній стороні локального силового трансформатора. Його також можна використовувати паралельно із зовнішнім блоком синхронізації.

Три входи фазної напруги та вхід залишкової напруги охоплюють номінальні напруги 60 ... 210 В. Можуть бути підключені як фазові, так і фазові напруги. Бінарний поріг входу (16... 176 В постійного струму) можна вибрати за допомогою регулювання параметрів реле.

Всі контакти бінарного вводу та виводу попередньо конфігуруються відповідно до конфігурації, але їх можна легко налаштувати, встановивши параметри, що базуються на застосуванні, використовуючи функцію конфігурації сигналу локальних НМІ та Web НМІ.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						36
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У розділі було розраховано уставки МСЗ для шин 110 кВ та 10 кВ а також для МСЗ силових трансформаторів.

За результатами розрахунку були обрані такі пристрою захисту:

- Для шин: REB 670 IED (Intelligent Electronic Device)
- Для трансформаторів: RET650
- Для фідерів: REF 615
- Для введів: REU 611

Також було описано пристрій для захисту виводів REU 611.

Через те, що усі обрані пристрої підтримують зв'язок по протоколу Modbus було вирішено взяти цей протокол як основу для подальшої розробки підсистеми збору оперативної інформації.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						37
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ОПЕРАТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Метою цієї розробки є створення програми для емуляції обміну даними з пристроями релейного захисту по протоколу Modbus.

Це дозволить безпечно перевірювати роботу пристроїв, не наражаючи на небезпеку складне та дороге обладнання.

Програма може використовуватись для лабораторних робіт задля розширення знань студентів у сфері передачі даних та комунікації між пристроями.

Програма також може використовуватися у якості основи для написання більш складного програмного забезпечення.

У якості приладу, роботу якого буде імітувати програма було обрано пристрій релейного захисту фірми АВВ, що підтримує

3.1 Modbus

Протокол Modbus є одним з найбільш розповсюджених промислових протоколів для машинної взаємодії, що, незважаючи на свою застарілість та проблеми з безпекою є стандартом і підтримується величезною кількістю виробників приладів РЗ.

Modbus передбачає знаходження у промисловій мережі лише одного master-пристрою та до 247 slave пристроїв. Обмін даними завжди починається master пристроєм. Slave пристрої ніколи не починають передачу даних до моменту отримання запиту. Slave пристрої також не можуть обмінюватися даним між собою, тому у будь-який момент часу в мережі Modbus може відбуватися лише один акт інформаційного обміну.

Адреси з 1 до 247 виділені під адреси приладів у мережі, а за 248 по 255 зарезервовані.

					141.3120.014.ДБ		
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розроб.		Плотніков Є.Д		11.06	Розробка підсистеми збору оперативної інформації	Арк.	Арк.
Перевір.		Настенко Д.В		11.06			Аркушів
Реценз.							
Н. Контр.		Настенко				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-61	
Затверд.		Толочко					
						38	16

При видачі адрес існує 2 правила:

- Master прилад не повинен мати адреси
- Адреси приладів не повинні співпадати

Master пристрій може посилати запити усім пристроям одночасно, якщо у пакеті замість адреси певного пристрою використати «0». Таким чином команду приймуть усі прилади у мережі.

Існує 3 реалізації протоколу:

- Modbus ASCII — У цій реалізації протоколу дані кодуються символами з таблиці ASCII та передаються у Hex форматі. Початок кожного пакету починається з символу «:», а кінець — символами повернення каретки та переносу строки: 13-м та 10-м символами з таблиці ASCII (CRLF). Цей факт дозволяє використовувати дану реалізацію протоколу не зважаючи на затримки у лінії та менш точне обладнання для комунікацій.
- Modbus RTU - В протоколі Modbus RTU, на відміну від попередньої реалізації, дані кодуються в двійковий формат, а для розмежування пакетів використовується часовий інтервал. Ця реалізація вимагає точного комунікаційного обладнання та неймовірно вимоглива до затримок на лінії зв'язку. Але великою перевагою є той факт, що довжина пакетів менша від пакетів Modbus ASCII.
- Modbus TCP — Пакети дуже схожі на пакети Modbus RTU, дані таким же чином кодуються в двійковий формат та пакуються у звичайний TCP-пакет для передачі по IP-мережі.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						39
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура пакета Modbus

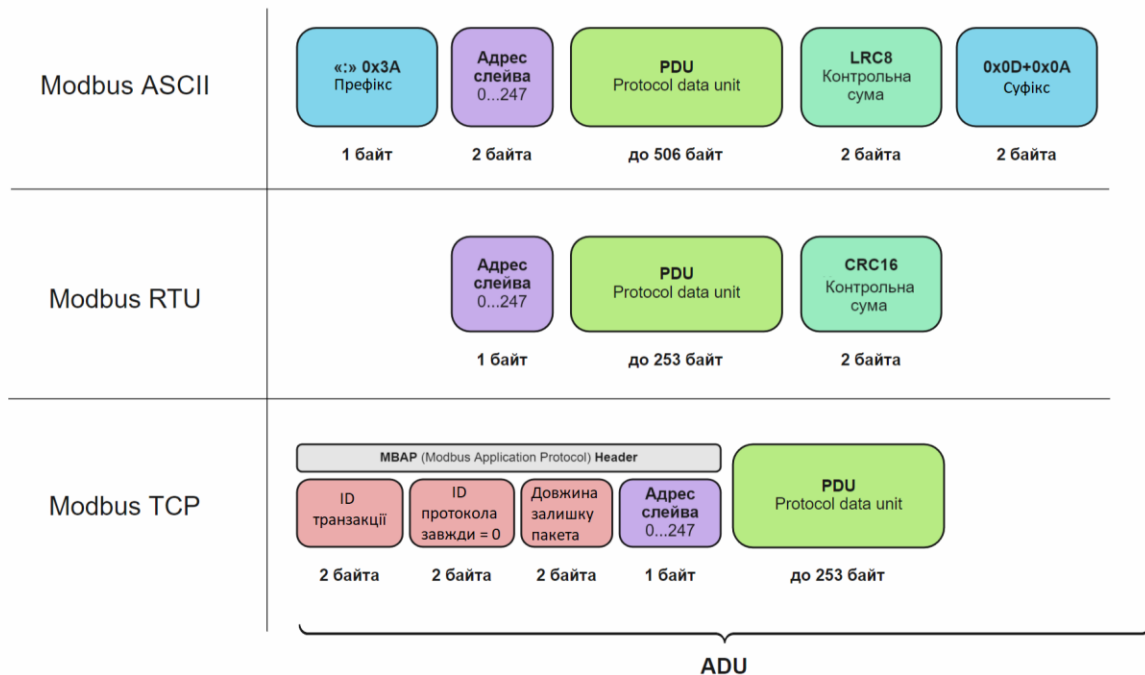


Рисунок 3.1 - Формати пакету різних реалізацій протоколу

TCP/IP	Modbus TCP	<p>Передача двійкових даних в IP пакетах</p> <ul style="list-style-type: none"> Перевірка цілостності винесена на рівеньTCP TCP Підключення на порт 502
RS-232 RS-422 RS-485	Modbus RTU	<p>Двійкові дані у пакетах</p> <ul style="list-style-type: none"> Кінець пакету визначається по інтервалам часу Потребує точній таймер, що є більш вимогливим до ресурсів
	Modbus ASCII	<p>Тільки ASCII дані в пакетах у 16-му форматі</p> <ul style="list-style-type: none"> Початок пакету визначається вимволом ":" Кінець пакету визначається вимволами повернення каретки "CR+LF" Не потребує точного таймера, менш вимогливий до ресурсів

Рисунок 3.2 - Відмінність протоколів

Також існує велика відмінність реалізацій типу Modbus RTU, Modbus ASCII від Modbus TCP/IP. З рис.3.1-3.3 легко побачити що Modbus TCP/IP, на відміну від інших реалізацій протоколу не має перевірки цілісності пакету.

Це відбувається через стандартну перевірку цілісності пакету при передачі даних через Ethernet TCP/IP.

Таким чином бачимо, що пакет Modbus TCP/IP — це модифікований пакет Modbus RTU без контрольної суми та slave ID, що утворює собою PDU. Перед ним у Modbus TCP з’являється новий 7-байтовий заголовок: IMAP Header(рис. 1), який містить у собі:

- ID транзакції
- ID протоколу
- Довжина залишку пакета
- Unit ID

А вже далі пакет даних, що містить у собі IMAP Header та PDU передається через інтерфейс Ethernet з використанням протоколу TCP/IP

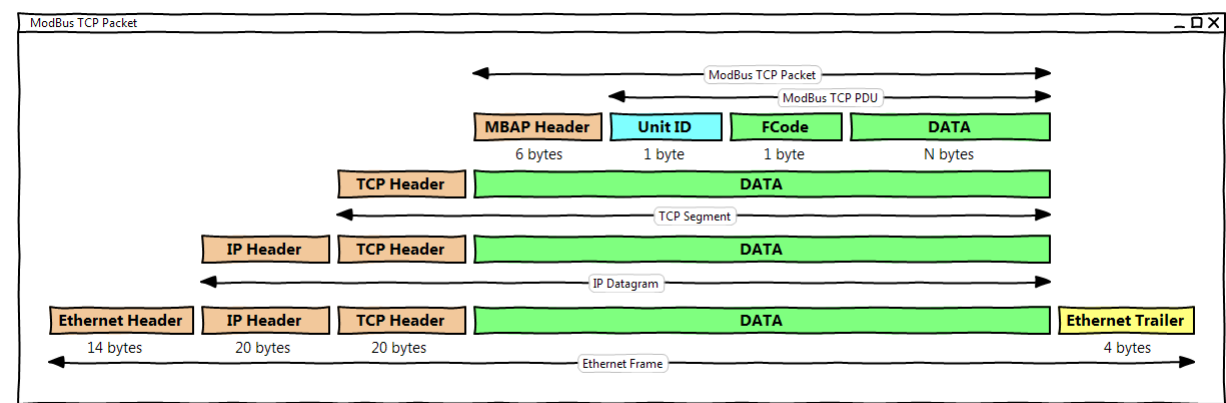


Рисунок 3.3 – Дані, що знаходяться у пакеті команди

Модель master-slave має значні недоліки:

7. slave не може ініціювати передачу даних, що призводить до постійної необхідності його опитування приладом master
8. slave не здатен помітити розрив з’єднання

Протокол має великі проблеми з безпекою через відсутність шифрування та розповсюдженості протоколу та інформації про нього. Також протокол не може використовуватись у системах, важливою частиною яких є швидкість передачі даних.

3.2 Розробка програми у середовищі .Net

Microsoft .NET Framework – це програмна платформа, розроблена компанією Microsoft, що може бути інстальована на комп'ютерах з операційною системою Microsoft Windows. У .NET Framework є велика бібліотека класів, що містять готові рішення для найтипівіших завдань, а також віртуальну машину для виконання програм, написаних спеціально для цієї платформи.

Програмна платформа .NET представляє потужну платформу для створення додатків. Можна виділити її основні риси:

1. Підтримка декількох мов

Основою платформи є загальномовне середовище виконання Common Language Runtime (CLR), завдяки чому .NET підтримує кілька мов: поряд з C # це також VB.NET, C ++, F #, а також різні діалекти інших мов, прив'язані до .NET, наприклад, Delphi. NET. При компіляції код на будь-якому з цих мов компілюється в збірку спільною мовою CIL (Common Intermediate Language) - свого роду асемблер платформи .NET. Тому ми можемо зробити окремі модулі однієї програми на окремих мовах.

2. Багатоплатформність

.NET є платформою, здатною до переносу на інші операційні системи (з деякими обмеженнями). Наприклад, остання версія платформи на даний момент .NET Core підтримується на більшості сучасних ОС Windows, MacOS, Linux. Використовуючи різні технології на платформі .NET, можна розробляти програми на мові C # для самих різних платформ - Windows, MacOS, Linux, Android, iOS, Tizen.

3. Потужна бібліотека класів.

NET представляє єдину для всіх підтримуваних мов бібліотеку класів. І яке б додаток ми не збиралися писати на C # - текстовий редактор, чат або складний веб-сайт - так чи інакше ми задіємо бібліотеку класів .NET.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						42
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Різноманітність технологій

Загальномовне середовище виконання CLR і базова бібліотека класів є основою для цілого стека технологій, які розробники можуть задіяти при побудові тих чи інших додатків. Наприклад, для роботи з базами даних в цьому стеку технологій призначена технологія ADO.NET і Entity Framework Core. Для побудови графічних додатків з багатим насиченим інтерфейсом - технологія WPF і UWP, для створення більш простих графічних додатків - Windows Forms. Для розробки мобільних додатків - Xamarin. Для створення веб-сайтів - ASP.NET і т.д.

У якості мови програмування була обрана C#. C# - елегантна, об'єктно-орієнтована мова, що дозволяє розробникам створювати різні безпечні і надійні додатки, що працюють на .NET Framework. C # можна використовувати для створення клієнтських додатків Windows, XML-веб-служб, розподілених компонентів, додатків клієнт-сервер, додатків баз даних і т. д.

C# є об'єктно-орієнтованою мовою, а отже підтримує інкапсуляцію, успадкування і поліморфізм. Всі змінні і методи, включаючи метод Main, який представляє собою точку входу в додаток, інкапсуються в визначення класів. Клас успадковується безпосередньо з одного батьківського класу, але може реалізовувати будь-яке число інтерфейсів. Методи, які скасовують віртуальні методи батьківського класу, повинні містити ключове слово `override`, щоб виключити випадкове перевизначення. У мові C # структура схожа на полегшений клас: це тип, що розподіляється в стеці, який реалізує інтерфейси, але не підтримує спадкування.

Крім цих основних принципів об'єктно-орієнтованого програмування, C# пропонує ряд інноваційних конструкцій, що спрощують розробку програмних компонентів:

- Інкапсульовані сигнатури методів, іменовані делегатами, які дозволяють реалізувати безпечні повідомлення про події.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						43
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Властивості, що надають доступ для закритих змінних-членів (get, set).
- Атрибути, що надають декларативні метадані про типах під час виконання.
- Коментарі для XML-документації, що знаходяться всередині строки коду.
- LINQ, який надає вбудовані можливості для створення запитів до різних джерел даних.

3.2.1 Розробка протоколу Modbus TCP

TCP / IP - мережева модель передачі даних, представлених в цифровому вигляді. Модель описує спосіб передачі даних від джерела інформації до одержувача. У моделі передбачається проходження інформації через чотири рівні, кожен з яких описується правилом (протоколом передачі). Набори правил, що вирішують завдання з передачі даних, складають стек протоколів передачі даних, на яких базується Інтернет. Назва TCP / IP відбувається з двох найважливіших протоколів сімейства - Transmission Control Protocol (TCP) і Internet Protocol (IP), які були першими розроблені і описані в даному стандарті. Також зрідка згадується як модель DOD (Department of Defense) в зв'язку з історичним походженням від мережі ARPANET з 1970-х років (під управлінням DARPA, Міністерства оборони США).

Набір інтернет-протоколів - це концептуальна модель і набір комунікаційних протоколів, використовуваних в Інтернеті і подібних комп'ютерних мережах. Він широко відомий як TCP / IP, оскільки базові протоколи в пакеті - це протокол управління передачею (TCP) і інтернет-протокол (IP). Його іноді називають моделлю Міністерства оборони (МО), оскільки розробка мережевого методу фінансувалася Міністерством оборони Сполучених Штатів через DARPA.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						44
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Набір інтернет-протоколів забезпечує наскрізну передачу даних, що визначає, як дані повинні пакетуватися, оброблятися, передаватися, маршрутизуватися і прийматися. Ця функціональність організована в чотири шари абстракції, які класифікують всі пов'язані протоколи відповідно до обсягу задіяних мереж. Від найнижчого до найвищого рівня - це рівень зв'язку, що містить методи зв'язку для даних, які залишаються в межах одного сегмента мережі; інтернет-рівень, який забезпечує між мережеву взаємодію між незалежними мережами; транспортний рівень, що обробляє зв'язок між хостами; і прикладний рівень, який забезпечує обмін даними між процесами для додатків.

Опис протоколу Modbus TCP приведений у п.2.5

Програмна частина реалізована у вигляді класу:

```
public class Modbus
```

клас Modbus містить наступні поля:

- public const byte ReadCoil = 1;
- public const byte ReadDiscreteInputs = 2;
- public const byte ReadHoldingRegister = 3;
- public const byte ReadInputRegister = 4;
- public const byte ReadWriteMultipleRegister = 23;
- public const byte WriteSingleCoil = 5;
- public const byte WriteSingleRegister = 6;
- public const byte WriteMultipleCoils = 15;
- public const byte WriteMultipleRegister = 16;

Ці поля являють собою номери команд, що вказуються у заголовку пакета для визначення певної реакції приладу на пакет даних.

Також були створені два методи для створення заголовків пакетів:

- CreateReadHeader

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

```

private byte[] CreateReadHeader(ushort id, byte unit, ushort startAddress,
ushort length, byte function)
{
    byte[] data = new byte[12];

    byte[] _id = BitConverter.GetBytes((short)id);
    data[0] = _id[1];    // Slave id high byte
    data[1] = _id[0];    // Slave id low byte
    data[5] = 6;        // Message size
    data[6] = unit;      // Slave address
    data[7] = function;  // Function code
    byte[] _adr = BitConverter.GetBytes(
(short)IPAddress.HostToNetworkOrder((short)startAddress) );
    data[8] = _adr[0];   // Start address
    data[9] = _adr[1];   // Start address
    byte[] _length =
BitConverter.GetBytes((short)IPAddress.HostToNetworkOrder((short)length
));
    data[10] = _length[0]; // Number of data to read
    data[11] = _length[1]; // Number of data to read

    return data;
}

```

Метою метода є, отримавши такі вхідні параметри як:

Id – порядковий номер команди;

unit – номер пристрою;

startAddress – адреса першого регістра, для якого буде виконана команда;

length – кількість регістрів, починаючи з startAddress, для яких буде виконана команда;

function – номер команди.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						46
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сформувати заголовок пакету даних для операцій зчитування даних з регістрів приладу.

Метод повертає заголовок пакету у вигляді масиву байтів

- CreateWriteHeader

```
private byte[] CreateWriteHeader(ushort id, byte unit, ushort startAddress,  
ushort numData, ushort numBytes, byte function)
```

```
{  
    byte[] data = new byte[numBytes + 11];  
  
    byte[] _id = BitConverter.GetBytes((short)id);  
    data[0] = _id[1];    // Slave id high byte  
    data[1] = _id[0];    // Slave id low byte  
    byte[] _size =  
BitConverter.GetBytes((short)IPAddress.HostToNetworkOrder((short)(5 +  
numBytes)));  
    data[4] = _size[0];    // Complete message size in bytes  
    data[5] = _size[1];    // Complete message size in bytes  
    data[6] = unit;        // Slave address  
    data[7] = function;    // Function code  
    byte[] _adr =  
BitConverter.GetBytes((short)IPAddress.HostToNetworkOrder((short)startA  
ddress));  
    data[8] = _adr[0];    // Start address  
    data[9] = _adr[1];    // Start address  
    return data;  
}
```

Метою метода є, отримавши такі вхідні параметри як:

Id – порядковий номер команди;

unit – номер пристрою;

startAddress – адреса першого регістра, для якого буде виконана команда;

numData – кількість регістрів, до яких будуть записані дані ;

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						47
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

numBytes – кількість байт повідомлення;

function – номер команди.

сформувати заголовок пакету даних для операцій запису даних у регістри приладу.

Метод, як і CreateReadHeader повертає заголовок пакету у вигляді масиву байтів

Обидва методи використовують метод GetBytes() класу BitConverter.

Клас BitConverter створений для перетворення різних типів даних у масив байтів і навпаки.

Метод GetBytes() у нашому випадку використовується для перетворення числа типу Int16, він же тип short, у масив байт.

Також обидва методи використовують метод HostToNetworkOrder() класу IPAddress, що дозволяє нам перетворити значення із формату вузла типу байт у мережевий формат типу байт.

Також було створено два методи для упаковки повного пакету даних для відправлення його пристрою у якості команди:

- CreatePackageRead

```
public byte[] CreatePackageRead(ushort id, byte unit, ushort startAddress,  
ushort numInputs, byte ReadOperation)
```

```
{
```

```
    return CreateReadHeader(id, unit, startAddress, numInputs,  
ReadOperation);
```

```
}
```

- CreatePackageWrite

```
public byte[] CreatePackageWrite(ushort id, byte unit, ushort startAddress, byte[]  
values, byte WriteOperation)
```

```
{
```

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

```

byte[] data;

data = CreateWriteHeader(id, unit, startAddress, 1, 1, WriteOperation);

data[10] = values[0];

data[11] = values[1];

return data;

}

```

Як і було зазначено, метою методів є упаковка даних у масив даних, який ми можемо відправити пристроєм, єдиним досі не описаним параметром є `values`, що являє собою масив значень, які мають бути записані у певні регістри приладу.

3.2.2 Розробка TCP Server

TCP Server- частина програми, відповідальна за емуляцію роботи пристрою релейного захисту.

Частину, що відповідає за комунікацію було реалізовано за допомогою класу `TcpListener`. Це клас, що знаходиться у підпросторі імен `System.Net.Sockets` і відповідає за прослухування підключень від TCP клієнтів мережі.

Для роботи з класом необхідно ініціювати об'єкт класу `TcpListener`. Перевантаження конструктора надає нам на вибір три способи ініціації об'єкту:

- `TcpListener(Int32)` – Ініціює новий екземпляр класу, що чекає на передачу даних для вказаного порту.
- `TcpListener(IPAddress, Int32)` – Ініціює новий екземпляр класу, що очікує спробу підключення для заданої IP адреси та номеру локального порту.
- `TcpListener(IPEndPoint)` – Ініціює новий екземпляр класу з вказаною кінцевою локальною точкою.

Було обрано другий варіант. При запуску сервера методом `TcpListener.Start()` буде створено сервер, що буде знаходитися по локальній адресі `127.1.0.1` з номером локального порту `8888`.

```
const int port = 8888;
```

```
IPAddress localAddr = IPAddress.Parse("127.1.0.1");
```

```
server = new TcpListener(localAddr, port);
```

```
server.Start();
```

Також у коді програми присутня конструкція `try/catch/finally`, що дозволить, при виникненні непередбачених помилок, нормально завершити роботу сервера

```
if (server != null)
```

```
    server.Stop();
```

а також вивести повідомлення про помилку, інформацію про яку можна використовувати для подальшого аналізу роботи.

```
catch (Exception e)
```

```
{
```

```
    Console.WriteLine(e.Message);
```

```
}
```

Очікування нових підключень відбувається з використанням методу `TcpListener.AcceptTcpClient()`;

Метод повертає об'єкт класу `TcpListener`, що використовується для подальшого отримання, обробки і передачі даних, використовуючи клас `Modbus`, основні частини якого описані у п.3.2.1.

Отримання повідомлення відбувається за допомогою метода `GetStream()`, що знаходиться у класі `TcpClient` по байтам і для полегшення його аналізу і обробки перетворюється і зберігається наступним чином:

```
byte[] data = new byte[256];
```

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						50
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

StringBuilder call_data = new StringBuilder();

TcpClient client = server.AcceptTcpClient();

NetworkStream stream = client.GetStream();

do
{
    int bytes = stream.Read(data, 0, data.Length);

    call_data.Append(Encoding.UTF8.GetString(data, 0, bytes));
}

while (stream.DataAvailable);

```

Після завершення обробки даних і формування пакету відповіді цей пакет надсилається у формі байтів, після чого відбувається закриття потоку і підключення

```

stream.Write(data, 0, data.Length);

stream.Close();

client.Close();

```

Закриття потоку і підключення зроблене з метою максимально приближеного до реальності імітування підключення до пристрою релейного захисту, а також через відсутність необхідності постійного підключення й можливого імітування послідовного опиту декількох пристроїв.

На даному етапі розробки програма, отримуючи запит, відправляє поточне значення основних параметрів мережі, з врахуванням їх можливої флуктуації.

Флуктуація основних параметрів мережі в установлених межах реалізована за допомогою класу Random.

3.2.3 Розробка TCP Client

TCP Client - частина програми, відповідальна за емуляцію запитів керуючого обладнання або, безпосередньо, диспетчером.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Частину, що відповідає за комунікацію було реалізовано за допомогою класу TcpClient. Це клас, що знаходиться у підпросторі імен System.Net.Sockets і надає клієнтські підключення для мережових служб протоколу TCP.

Для роботи з класом необхідно ініціювати об'єкт класу TcpClient. Перевантаження конструктора надає нам на вибір чотири способи ініціації об'єкту:

- TcpClient() - Ініціює новий об'єкт класу TcpClient.
- TcpClient(IPEndPoint) - Ініціює новий об'єкт класу TcpClient і зв'язує його з заданою локальною кінцевою точкою.
- TcpClient(AddressFamily) – Ініціює новий об'єкт класу TcpClient з заданим сімейством адрес.
- TcpClient(String, Int32) - Ініціює новий об'єкт класу TcpClient та підключає його до вказаного у параметрах порту та вузла локальної мережі.

Задля огляду можливих варіантів підключення було обрано перший варіант, таким чином підключення до вже запущеного сервера виглядає наступним чином:

```
TcpClient client = new TcpClient();  
client.Connect(server, port);
```

Обмін даними проходить по тому ж свмому принципу, що описаний у п.3.2.2.

Так як і у п.3.2.2, код програми захищений від основних можливих помилок, таких як SocketExeption конструкцією try/catch

Висновки

В цьому розділі було описано розробку підсистеми збору оперативної інформації, що являє собою програми для імітації роботи з пристроєм захисту лінії REU 611. Зв'язок з пристроєм встановлюється по протоколу Modbus. Програми дозволяють імітувати роботу з одним або

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						52
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

декількома пристроями і, при грамотному налагодженні, здатна імітувати роботу будь-якого пристрою релейного захисту, здатному до обміну даними по протоколу Modbus.

Програма розроблена на базі .NET Framework, на мові C#. було освоєно роботу з потоками, роботу з об'єктами класів TcpClient та TcpListener. Також ознайомився з протоколами передачі даних. Був розглянутий пристрій релейного захисту REU611 його характеристики та основні можливості.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						53
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

За результатами дипломної роботи було розроблено і реалізовано підсистему збору оперативної інформації, що містить у собі 3 основних частини:

- Програма TCP Client
- Програма TCP Server
- Протокол Modbus

Підсистема дозволяє контролювати значення, отримані при роботі з іншими програмами, імітувати аварійні режими мережі і реакцію релейного захисту на них, видавати бінарний пакет з необхідною командою а також може бути використана на лабораторних роботах з таких предметів як релейний захист та ООП як у якості прикладу так і, при незначній доробці у якості робочого середовища.

Підсистема може бути модернізована шляхом додавання адекватно спроектованого графічного середовища, вікна з графіками, більшої кількості налаштувань, додання можливості експорту даних та інших частин, що спростять роботу з ними.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						54
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Томас Дж. Введення в протокол Modbus : стаття. частина 1. Англія : УБ, 2017. 8с.
2. Palmer C, Shenoі S. Critical Infrastructure Protection ІІІ: третя міжнародна конференція IFIP WG 11.10. США: Гановер, Нью-Гемпшир. 2009 р. 34с.
3. Modbus Specification and implementation guides 485 [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://modbus.org/specs.php>. – Дата доступу: травень 2020.
4. Шабад М.А. Розрахунки релейного захисту та автоматики розподільних систем. навч. посіб. 1-е вид., перероб. та доп. Київ : ЦУЛ, 2010. 172 с.
5. REU611 2.0 IEC, Voltage Protection, Product Guide [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: https://library.e.abb.com/public/a79f73df99d146248d0d66287dcb4efb/REU611_pg_758512_ENc.pdf – Дата доступу: травень 2020.
6. Документація по підстанції 110/10 кВ «Чорак» [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <https://upp.com.ru/podstantsiya-110-10-kv-laquo-chokrak-raquo/> – Дата доступу: квітень 2020.
7. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ, 2015. 26 с. (Інформація та документація)
8. Троэлсен Э. С# и платформа .NET. Библиотека программиста. – СПб.: Питер, 2007. ISBN – 978-5-318-00750-7
9. Д.В. Настенко, В.В. Заколюдажний Об'єктно-орієнтоване програмування. Частина 1. Основи об'єктно-орієнтовного програмування. Методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму для студентів напряму підготовки бакалаврів 6.050701 „Електротехніка та електротехнології”– К.: НТУУ “КПІ”, 2014.– 73 с.
- 10.В. П. Кідиба. Релейний захист електроенергетичних систем : навч. посіб. [для студентів електроенергет. спец. ВНЗ, аспірантів, викл.]; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 504 с. : іл., табл. – Бібліогр.: с. 482-486

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						55
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(64 назви). – ISBN 978-617-607-827-2

11. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / О.С. Яндульський О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с. – Бібліогр.; с. 92 – 102.
12. Дьяков, А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. - 2-е изд., стер. -М. : Издательский дом МЭИ, 2010. - 336 с.
13. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : Высшая школа, 2006. – 639с.

					141.3120.014.ДБ	Арк.
						56
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		