

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МАРТИНЮК Володимир Анатолійович

**Комп'ютеризована система телеуправління високовольтними
підстанціями електроенергетики/ Computerized remote control
system of high-voltage power substations**

спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТм - 21
В.А. Мартинюк

Науковий керівник
к.т.н., доцент І.Р.Пітух

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2024 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

"_____" _____ 20__ р. А.І.Сегін

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
МАРТИНЮК Володимир Анатолійович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Комп'ютеризована система телеуправління високовольтними підстанціями
електроенергетики/ Computerized remote control system of high-voltage power
substations.

керівник роботи к.т.н., доцент І.Р. Пітух
затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

15 листопада 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Класифікація електричних підстанцій.
2. Обладнання високовольтних підстанцій.
3. Структура і компоненти систем телемеханіки.
4. Системи телеуправління в електромережах.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Аналіз високовольтних підстанцій як об'єкта автоматизації.
2. Дослідження принципів побудови комп'ютеризованих систем
телеуправління.
3. Реалізація комп'ютеризованої системи телеуправління високовольтною
підстанцією.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Типова схема ВПП.
2. Компоненти системи ТУ.
3. Структурна схема централізованого ТУ ВВП.
4. Структурна схема блоку ЗПД.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз високовольтних підстанцій як об'єкта автоматизації	12.2023р. – 02.2024р.	
2	Дослідження принципів побудови комп'ютеризованих систем телеуправління	03.2024р. – 06.2024р.	
3	Реалізація комп'ютеризованої системи телеуправління високовольтною підстанцією	07.2024р. – 11.2024р.	

Студент

(підпис)

В.А. Мартинюк

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент І.Р. Пітух

АНОТАЦІЯ

Мартинюк В.А. Комп'ютеризована система телеуправління високовольтними підстанціями електроенергетики. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі проаналізовано електричні підстанції як об'єкт автоматизації; досліджено принципи побудови комп'ютеризованих систем телеуправління в електромережах; розроблено структурну схему комп'ютеризованої системи телеуправління високовольтною підстанцією; розроблено блок збору та передачі даних; запропоновано підвищення ефективності моніторингу та управління шляхом виявлення нештатних станів за допомогою інтегрованих функцій телеуправління, автоматичної обробки даних і своєчасної реакції на зміни в параметрах роботи підстанції.

ANNOTATION

Martyniuk, V.A. Computerized remote control system of high-voltage power substations. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Master» with the title 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics». – West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The work analyzes electrical substations as objects of automation; investigates the principles of building computerized telecontrol systems in electrical networks; develops a structural diagram of a computerized telecontrol system for high-voltage substations; designs a data collection and transmission module; proposes improvements to the efficiency of monitoring and control by detecting abnormal conditions using integrated telecontrol functions, automatic data processing, and timely responses to changes in substation operation parameters.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПІДСТАНЦІЙ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	9
1.1 Класифікація електричних підстанцій	9
1.2 Обладнання високовольтних підстанцій.....	15
1.3 Параметри контролю та управління.....	22
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕЛЕУПРАВЛІННЯ.....	25
2.1 Структура і компоненти систем телемеханіки	25
2.2 Системи телеуправління в електромережах	29
2.3 Системи телеуправління високовольтними підстанціями	32
2.4 Архітектура систем телеуправління.....	36
2.5 Вимоги до проектованої системи	44
3. РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕЛЕУПРАВЛІННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОЮ ПІДСТАНЦІЄЮ	46
3.1 Технічне забезпечення проектованої системи.....	46
3.2 Структурна схема комп'ютеризованої системи телеуправління.....	48
3.3 Принцип роботи проектованої системи	49
3.4 Розробка блоку збору та передачі даних.....	50
ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТОК А Структурна схема централізованого ТУ ВВП.....	62
ДОДАТОК Б Структурна схема блоку ЗПД.....	63
ДОДАТОК В Встановлення кількості блоків ТВ, ТС, КЛ.....	64
ДОДАТОК Г Встановлення режимів роботи КЗД	65
ДОДАТОК Д Копії публікацій	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЗ - апаратні засоби;
АРМО - автоматизоване робоче місце оператора;
ББЖ - блок безперебійного живлення;
БЗПД - блок збору та передачі даних;
ВВП - високовольтні підстанції;
ВМ - виконавчі механізми;
ДПУ - диспетчерський пункт управління;
ЕП - електрична підстанція;
КЗД - контролер збору даних;
КК - контролер керування;
КЛ - контролер лічильників;
КС - комп'ютеризована система;
ЛЕП - лінія електропередач;
ЛЗ - лінія зв'язку;
ММ - модуль модему;
ПЗ - програмним забезпеченням;
РЧ - реальний час;
СГ - системний годинники;
ТВ – телевимірювання;
ТМ – телемеханіка;
ТО - технічний об'єкт;
ТРП - трансформаторні підстанції;
ТС – телесигналізація;
ТУ – телеуправління;
ШК - шафа керування;

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна енергетична галузь вимагає високого рівня надійності, безпеки та оперативності управління, особливо у сфері передачі та розподілу електроенергії на високовольтних підстанціях. Зі зростанням масштабів енергетичних мереж та підвищенням складності їхньої структури виникає необхідність впровадження ефективних систем управління, що забезпечують постійний моніторинг, швидке реагування на позаштатні ситуації та оптимізацію роботи електроенергетичних об'єктів. Одним із найефективніших підходів до досягнення цих цілей є комп'ютеризовані системи телеуправління, що дозволяють дистанційно контролювати та управляти високовольтними підстанціями з мінімальним втручанням персоналу.

Актуальність теми дослідження обумовлена зростаючою потребою в автоматизації процесів управління на об'єктах електроенергетики. Збої в роботі підстанцій можуть мати серйозні наслідки для стабільності енергопостачання, що впливає як на економічний розвиток регіонів, так і на якість життя населення. Високовольтні підстанції є ключовими елементами енергетичних систем, і їхній стабільний, безперервний та безпечний режим роботи забезпечує надійність всього енергокомплексу. Комп'ютеризовані системи телеуправління дозволяють значно підвищити точність та швидкість реагування на аварійні ситуації, оперативно змінювати параметри роботи обладнання, проводити дистанційну діагностику та знижувати ризик техногенних катастроф.

Метою роботи є дослідження та розробка комп'ютеризованої системи телеуправління високовольтними підстанціями, яка забезпечить надійний контроль, моніторинг та оперативне управління об'єктами електроенергетики.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати ряд завдань, зокрема:

- провести аналіз електричних підстанцій як об'єкта автоматизації;
- визначити параметри моніторингу та управління для забезпечення ефективного контролю та регулювання роботи обладнання;
- дослідити принципи побудови систем телемеханіки;
- дослідити структуру та функції систем телеуправління об'єктами електроенергетики;
- реалізувати комп'ютеризовану систему телеуправління підстанцією.

Об'єкт дослідження: процес моніторингу та управління високовольтними підстанціями.

Предмет дослідження: комп'ютеризована система телеуправління електроенергетичними об'єктами.

Наукова новизна отриманих результатів. Запропонована комп'ютеризована система телеуправління, яка поєднує функції збору, обробки та передачі даних телесигналізації телевимірювання з використанням сучасних апаратних і програмних засобів. Запропоновано алгоритми моніторингу та реагування на передаварійні та аварійні ситуації, які дозволяють фіксувати зміни параметрів із високою точністю та передавати дані до диспетчерського пункту в реальному часі. Застосовано мікросхеми з гальванічною розв'язкою, що дозволяє підвищити надійність обміну даними та зменшити вплив електромагнітних завад.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована система може бути впроваджена на високовольтних підстанціях для автоматизації процесів збору, обробки та передачі даних, забезпечуючи дистанційний моніторинг та управління. Реалізовано функціональний модуль для інтеграції цифрових пристроїв, лічильників, релейного захисту, що дозволяє забезпечити стабільний обмін даними між підстанцією та диспетчерським пунктом.

Апробація.

1. Мартинюк В., Шубалий П., Пітух І., Давлетова А. Комп'ютерно-інтегрована система управління об'єктами електроенергетики / Збірник

матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2024), Тернопіль, 2024. - с. 45-49.

2. Шубалий П., Мартинюк В., Пітух І. Комп'ютеризована система телеуправління високовольтними підстанціями / Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Технології Інтернету речей: системи та рішення» (ТІР СТ - 2024), Тернопіль, 2024. -96 с.28-31.

1. АНАЛІЗ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПІДСТАНЦІЙ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Класифікація електричних підстанцій

Електричні підстанції (ЕП) це загальний термін, що охоплює всі типи об'єктів, які забезпечують виробництво, передачу та розподіл електричної енергії по лініях електропередачі (ЛЕП). Вони є важливими елементами енергосистеми, забезпечуючи передачу електроенергії від однієї частини виробничої системи до іншої. ЕП виконують функції трансформації напруги, комутації, захисту, компенсації та секціонування енергомережі, забезпечуючи стабільність та ефективність роботи енергосистеми в цілому. Електричні підстанції можуть працювати з різними рівнями напруги [1].

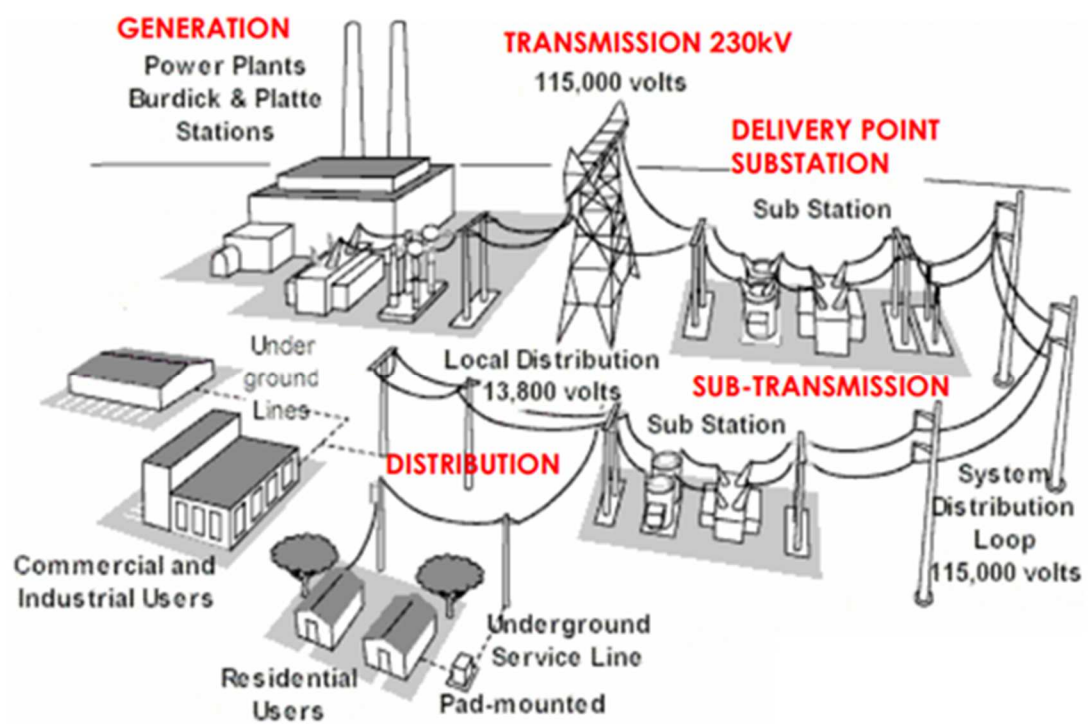


Рисунок 1.1 - ЕП в системі електропередачі

Важливою частиною системи електропередачі та розподілу енергії, що відноситься до енергетичних об'єктів в складі електричних мереж, є трансформаторні підстанції (ТРП). Основною функцією ТРП забезпечення

стабільного та ефективного постачання електричної енергії в різних частинах енергомережі. Вони призначені для передачі електричної енергії між ключовими елементами енергетичної інфраструктури, такими як генеруючі станції, розподільчі системи та споживачі. ТРП забезпечують підвищення або зниження напруги в залежності від вимог енергосистеми, знижують високі напруги на рівень, придатний для підключення до розподільних мереж чи споживання, або підвищують для дальшої передачі на більші відстані [2-4].

Спеціалізованими ЕП, які працюють з високими та надвисокими напругами (від 35 кВ до 750 кВ і вище) є високовольтні підстанції (ВВП). Основною метою є передача електричної енергії на значні відстані через високовольтні ЛЕП, де висока напруга дозволяє знизити втрати енергії. Вони виконують функції комутації, захисту та регулювання енергомережі на великих відстанях та включають трансформатори для зниження або підвищення напруги [5-8]. Основні функції ВВП включають:

- трансформація напруги - для зниження втрат при передачі енергії на великі відстані та для адаптації до вимог місцевих споживачів;
- комутація ліній - для зміни потоку енергії або виявлення та локалізацію аварій;
- захист і компенсація - для автоматичного контролю за станом мережі та захист від коротких замикань і перенапруг.

ВВП є важливою частиною енергетичної інфраструктури та забезпечують стабільність і надійність роботи енергосистеми, особливо при міжміських і міжрегіональних передачах електричної енергії. Такі ЕП є основою для підтримки ефективної роботи широкомасштабних енергомереж, що охоплюють великі території.

ВВП, як правило, розташовані між генеруючими станціями та ТРП, що допомагають знизити або підвищити напругу для забезпечення ефективної та безпечної передачі енергії на великі відстані. Такі ЕП можуть належати до розподільчих, для розподілу електроенергії по споживачах, або передавальних, для передачі енергії від станцій до споживачів або інших

підстанцій.

ЕП можна класифікувати за рядом критеріїв, залежно від призначення, потужності, схем з'єднання, за рівнями напруги, функціями, місцем розташування в енергетичній системі тощо [5-10].

За призначенням можна виділити:

- підвищувальні - призначені для підвищення напруги електроенергії, яка виробляється на електростанціях, для подальшого транспортування магістральними лініями. Зазвичай розташовані поруч із генераційними потужностями. Ці підстанції підвищують вихідну напругу з електростанції (приблизно 20 кВ) до надвисокої напруги (від 275 кВ до 500кВ), що необхідно для ефективної передачі електричної енергії на великі відстані. Вони передають електричну енергію до ультрависоковольтих підстанцій.

- знижувальні - використовуються для зниження напруги з високовольтих магістральних ЛЕП до рівня, прийнятного для розподільчих мереж або споживачів. Основною функцією є пониження напруги з 22 кВ до 6600 В для подальшого розподілу до малих споживачів, наприклад заводи, офіси або побутові споживачі. Розташовані ближче до кінцевих споживачів.

- розподільчі - служать для перерозподілу електроенергії між регіональними чи локальними мережами. Забезпечують передачу енергії до кількох розподільчих вузлів. Також вони передають електричну енергію до підстанцій на стовпах.

- комутаційні - не використовують трансформатори і працюють з одним рівнем напруги. Як правило використовуються як колекторні та розподільчі станції, а також для перемикання струму на резервні лінії та для ланцюга розпаралелювання в разі збоїв.

- трансформаторні - забезпечують передавання енергії між магістральними мережами без суттєвої зміни напруги. Виконують функцію трансформації напруги на різних етапах мережі.

- спеціалізовані - використовуються для живлення окремих

великих об'єктів, таких як заводи, аеропорти чи залізничні вузли.

На рисунку 1.2. наведено перелічені категорії підстанцій [8].

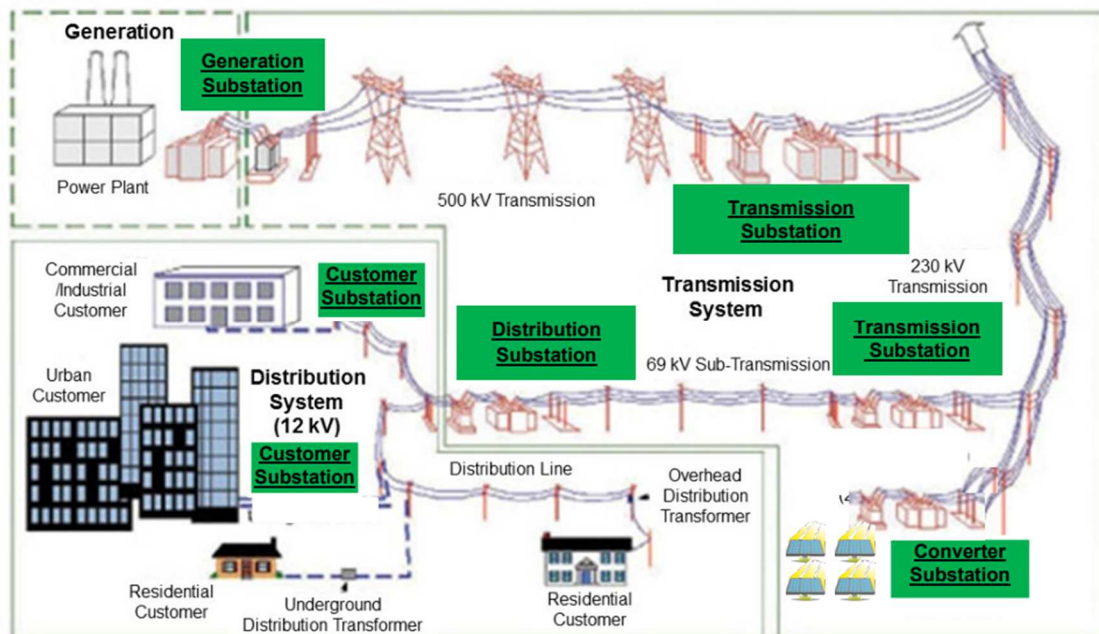


Рисунок 1.2 - Електроенергетична система з категоріями підстанцій

Класифікація ЕП з врахуванням етапів трансформації напруги [6, 7]:

- первинні підстанції - функція яких полягає у розподілі напруги до великих споживачів та зниження напруги для подальшої передачі. Наприклад підстанції з напругою 154 кВ можуть живити великих споживачів, такі як залізничні мережі чи великі фабрики та знижувати напругу до 66 кВ для подальшого розподілу в вторинні підстанції.

- вторинні підстанції - основна функція полягає у пониженні напруги до 22 кВ для промислових споживачів. Підстанції з напругою 66 кВ понижують її до 22 кВ, розподіляючи електричну енергію на фабрики та інші великі об'єкти. Після цього електрична енергія передається до розподільчих підстанцій.

За схемами з'єднання можна виділити:

- радіальні - ЕП мають односторонній зв'язок із джерелом живлення. Схема характеризується простою конструкцією, проте має низьку надійність. У випадку аварії ЛЕП постачання енергії припиняється повністю.
- кільцеві - енергія подається з двох і більше джерел живлення.

Така схема забезпечує резервне живлення, підвищуючи надійність.

- схеми із секціонуванням - ЛЕП поділяються на секції, які можуть житися від різних джерел. Як правило, використовуються для розподілу потужностей між кількома споживачами.

- магістральні - забезпечують одночасний розподіл енергії для кількох вихідних ліній і використовуються у мережах великої потужності.

На рисунку 1.3 наведено взаємозв'язок між наведеними ЕП.

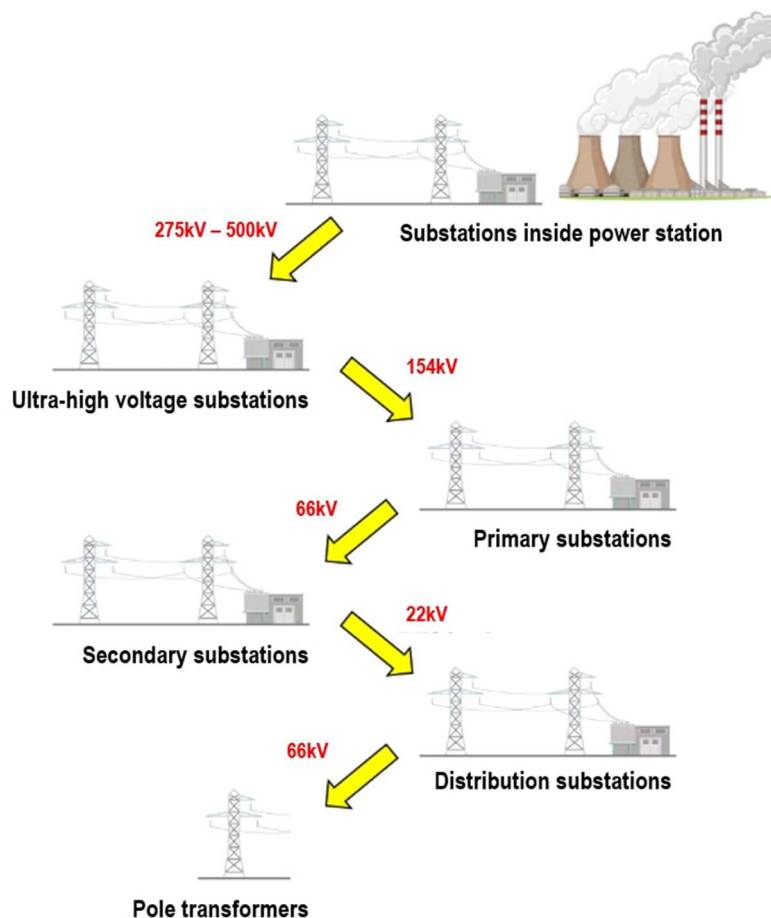


Рисунок 1.3 - Розподіл електричної енергії

В залежності від потужності є:

- низьковольтні - напруга до 35 кВ, як правило використовуються у локальних мережах, промислових і сільських районах;
- середньовольтні - з напругою 35 кВ - 220 кВ та застосовуються для передачі енергії між регіональними мережами;
- високовольтні - від 220 кВ до 750 кВ є основним елементом

магістральних мереж для транспортування енергії на великі відстані;

- ультрависоковольтні - з напругою понад 750 кВ застосовуються для передачі енергії у міждержавних чи надвеликих мережах. Їх функцією є пониження напруги (від 275 кВ до 500 кВ) до середньої напруги (154 кВ) для передачі в основні підстанції. Потім електрична енергія передається до первинних підстанцій, де вона розподіляється далі по мережі.

За питом розміщення підстанції поділяються на:

- повітряні - встановлюються на опорах - стовпах (полюсні трансформатори) і використовуються для пониження напруги до рівня для побутових споживачів. Ці трансформатори знижують напругу з 6600 В до 200 В або 100 В для живлення домогосподарств або малих офісів. Вони безпосередньо розподіляють електричну енергію кінцевим споживачам;

- внутрішні - розміщуються в спеціальних приміщеннях житлових, офісних або службових будівель.

- контейнерні - компактні електроустановки повністю готові до експлуатації об'єктами, де всі основні компоненти інтегровані всередині контейнера. Це рішення дозволяє створювати мобільні, зручні для транспортування та швидкого монтажу підстанції.

- пересувні - оснащені всім необхідним обладнанням ЕП, можуть транспортуватися і використовуватися в будь-якому місці.

Основне призначення ВВП у енергосистемі полягає у зміні параметрів електричної енергії для оптимізації її передачі та розподілу [11-13]. Енергія, вироблена на електростанціях, часто передається на великі відстані через магістральні ЛЕП. ВВП допомагають зменшити енергетичні втрати завдяки перетворенню параметрів електричної енергії. ВВП забезпечують гнучкий розподіл енергії між регіональними розподільчими мережами. Вони дозволяють оперативно регулювати потоки електроенергії, спрямовуючи її до різних зон і об'єктів, враховуючи коливання попиту, що дозволяє підтримувати стабільність енергосистем, особливо у пікові періоди навантаження. ВВП сприяють ефективному розподілу електроенергії серед

різних споживачів, забезпечуючи баланс між її виробництвом та споживанням. Це дозволяє уникати надлишкових витрат на генерацію та підтримує економічну ефективність енергосистеми.

Ці підстанції обладнані сучасними системами релейного захисту та автоматики, які запобігають перевантаженням, коротким замиканням. Це знижує ризик виникнення збоїв у роботі енергосистеми та підвищує її стійкість до пошкоджень. Також виявляють і локалізують аварійні ситуації, забезпечуючи стабільність роботи енергосистеми. Вони стабілізують параметри енергії, такі як напруга, частота, для відповідності нормативним вимогам, що є важливим для забезпечення якості електроенергії, необхідної для безперебійної роботи промислових і побутових пристроїв.

ВПП відіграють важливу роль у забезпеченні резервного живлення при аваріях або пікових навантаженнях, перерозподіляючи потоки енергії між різними лініями. Вони є стратегічним об'єктом енергетичної інфраструктури, що забезпечує надійність, безпеку та ефективність функціонування енергосистеми.

В умовах розвитку «зеленої» енергетики ці підстанції забезпечують інтеграцію електроенергії з відновлюваних джерел у загальну мережу. Вони дозволяють стабілізувати параметри енергії, що надходить від таких джерел, та підтримувати її якість для кінцевих споживачів.

Таким чином, ВВП є важливими об'єктами електроенергетичної інфраструктури, що забезпечують стабільність, надійність і безперервність електропостачання на всіх рівнях енергосистеми.

1.2 Обладнання високовольтних підстанцій

На рисунку 1.4 наведено типову схему ВВП [14]. ВПП виконують ряд ключових функцій [15-18], що забезпечують стабільність, ефективність та безпеку енергосистеми які включають технічний контроль, регулювання параметрів електроенергії та захист мережі.

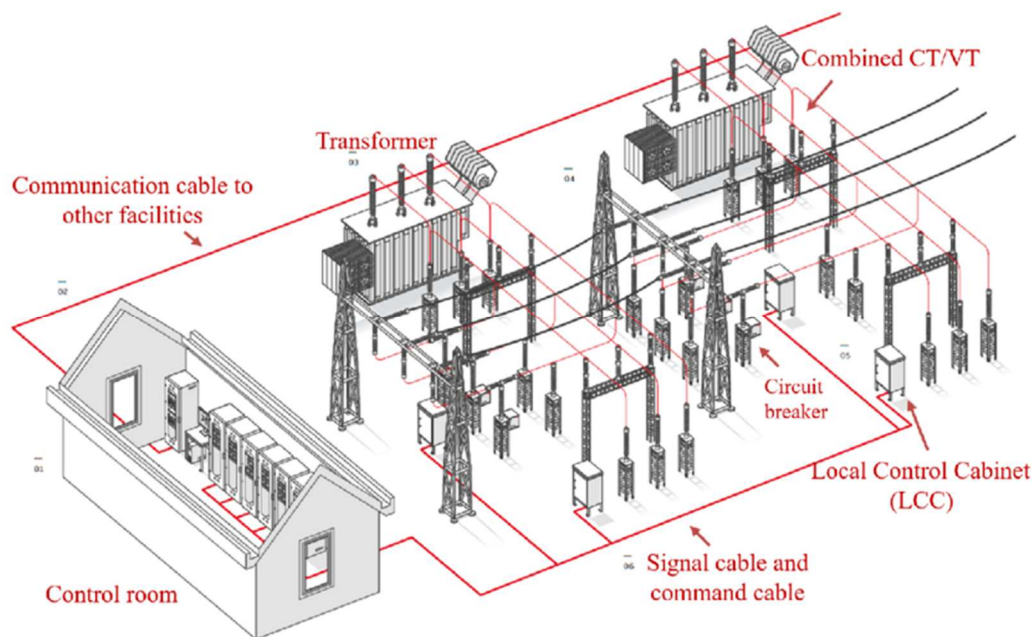


Рисунок 1.4 - Типова схема ВПП

Обладнання ВВП забезпечує стабільний рівень напруги на виходах підстанції відповідно до стандартів, моніторинг напруги у режимі реального часу для запобігання її надмірному зростанню або зниженню, що може вплинути на якість енергії або пошкодити обладнання та регулювання напруги через використання автоматичних трансформаторів з перемикачами обмоток.

До складу ВВП входить обладнання [19, 20]:

- трансформатори;
- комутаційне обладнання;
- пристрою захисту і контролю;
- засоби зв'язку;
- кабелі та провідники.

Трансформатори ВВП є статичними електромагнітними апаратами з 2-ма і більше обмотками, які призначені для зміни рівнів струму та напруги для ефективної передачі й розподілу електроенергії. Серед них виділяють:

- силові трансформатори - змінюють рівень напруги для ефективної передачі електроенергії на великі відстані, що дозволяє

знижувати втрати під час транспортування електричної енергії (рисунок 1.5а);

– трансформатор струму - вимірювання активної та реактивної потужності, що дозволяє оцінити ефективність роботи енергосистеми (рисунок 1.5б);

– трансформатор напруги або потенціалу - забезпечують оптимальний розподіл потужності між різними мережами або регіонами, що сприяє стабільності в системі та ефективному використанню енергетичних ресурсів для вимірювання та перетворення напруги (рисунок 1.5в).



а)



б)



в)

Рисунок 1.5 - Трансформатори ВВП

Трансформатори струму допомагають здійснювати балансування потужності між джерелами живлення та споживачами, щоб уникнути перевантажень і втрат енергії. Трансформатори напруги використовуються для вимірювання та підтримки частоти електроенергії на заданому рівні, зазвичай 50 Гц у більшості країн. Вони дозволяють здійснювати автоматичне регулювання частоти для компенсації змін у навантаженні або виробництві

електроенергії. Це забезпечує синхронність роботи кількох джерел енергії в мережі, що є критично важливим для стабільної роботи енергосистеми. Силові трансформатори використовуються для підвищення або зниження напруги при передаванні електроенергії між різними мережами, забезпечуючи стабільність енергосистеми.;

До складу комутаційного обладнання входять (рисунок 1.6):

- електричні вимикачі - захищають систему від несправностей, забезпечуючи відключення електричного кола та можливості усунення несправностей;
- автоматичні вимикачі - для автоматичного відключення при аваріях;
- роз'єднувачі - призначені для включення чи відключення кола високої напруги у випадку відсутності струму;
- розподільчі пристрої низької напруги.



Рисунок 1.6 - Комутаційне обладнання

Пристрої контролю та управління (рисунок 1.6) включають:

- релейні панелі - для управління та захисту енергетичних систем від аварійних режимів, моніторингу та контроль стану обладнання;
- пульт управління та захисту - для централізованого керування та оперативного моніторингу важливих компонентів підстанції, а також отримання даних про роботу мережі;
- мікропроцесорні блоки управління - для автоматизації управління, моніторингу та захисту енергосистем. Вони забезпечують

інтеграцію з різними системами підстанцій і дозволяють здійснювати швидке реагування на зміни в режимах роботи;

– системи дистанційного управління (SCADA) - спеціалізовані комп'ютеризовані системи (КС), використовуються для контролю роботи ВВП і передачі даних на пульт диспетчера.



Панель електромеханічного реле



Мікропроцесорна релейна панель

Рисунок 1.6 - Пристрої контролю та управління

Перелічені пристрої забезпечують моніторинг і діагностику стану мережі, постійний збір і аналіз даних про параметри мережі, виявлення потенційних несправностей або зниження ефективності обладнання та застосування діагностичних систем для планування профілактичних ремонтів.

Також за допомогою цих пристроїв та систем реалізується контроль стану обладнання, моніторингу температури трансформаторів, вимикачів, кабелів та інших компонентів ВВП, оскільки перегрів обладнання може призвести до аварій або пошкоджень.

Для виявлення та ізоляції аварійних ділянок мережі використовуються пристрої релейного захисту. Вони забезпечують автоматичне вимкнення пошкодженого обладнання або ліній передачі для запобігання подальшим пошкодженням. Для швидкого відновлення роботи мережі після короточасних збоїв реалізуються систем автоматичного повторного

ввімкнення.

До пристроїв захисту можна віднести:

- ізолятори - для утримання та ізоляції проводів або інших елементів від землі або конструкцій ВВП. Вони запобігають коротким замиканням і забезпечують безпечне транспортування енергії (рисунк 1.7а);
- блискавкозахист (розрядники) - для захисту обладнання ВВП від перенапруг. Сприяють швидкому відведенню надмірного струму, що виникає при ударі блискавки, від електричних систем, чим запобігають їх пошкодженню та автоматично замикають електричну лінію на землю під час грозовиці, знижуючи ризик коротких замикань та пожеж (рисунк 1.7б);
- хвильова пастка - застосовується для захисту від високочастотних перешкод, зокрема від електромагнітних імпульсів, які можуть виникати внаслідок коротких замикань або інших збурень. Виконується у формі циліндричних структур, які підключені до високовольтної ЛЕП змінного струму та поглинають перешкоди і зменшують їх вплив на обладнання (рисунк 1.7 в);
- сітка заземлення - включає мережу проводів або металевих елементів, що з'єднані із землею для безпечного відведення струмів замикання. Вона розподіляє струм рівномірно по всій площі підстанції, забезпечуючи надійний захист від електричних ударів.

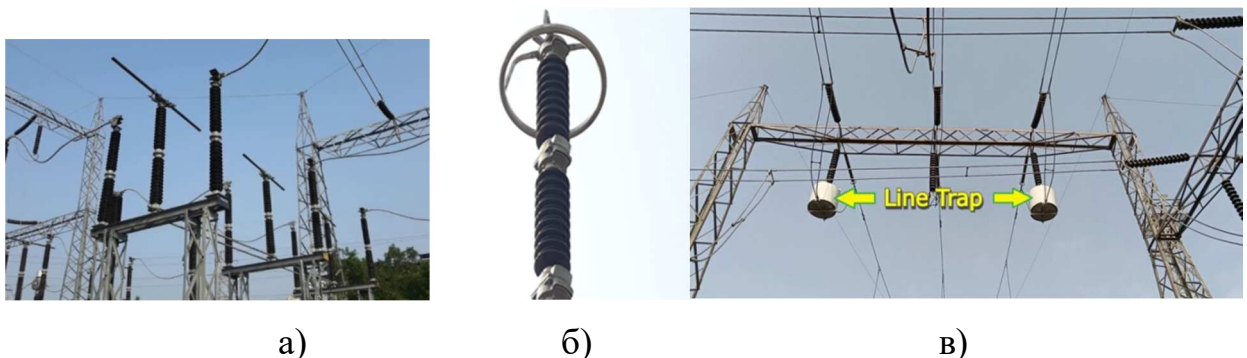


Рисунок 1.7 – Пристрої захисту

Кабелі та провідники:

- силові кабелі - для передачі електроенергії між підстанціями,

розподільними мережами та споживачами;

- кабелі управління - для передачі сигналів управління, що дозволяють здійснювати моніторинг, налаштування та управління обладнанням на підстанціях.

- обладнання PLCC - для передачі інформаційних сигналів через лінії електропередачі з метою здійснення передачі даних для автоматизації управління, моніторингу та захисту енергосистем.

Також до складу ВПП входять додаткове обладнання, зокрема:

- автобус-бар (шинопровід) - для розподілу електроенергії між обладнанням (рисунок 1.8а);

- оцинковані сталеві конструкція для веж - для підтримки обладнання на підстанції (рисунок 1.8б).

- шунтуючий реактор - для компенсації реактивної потужності;

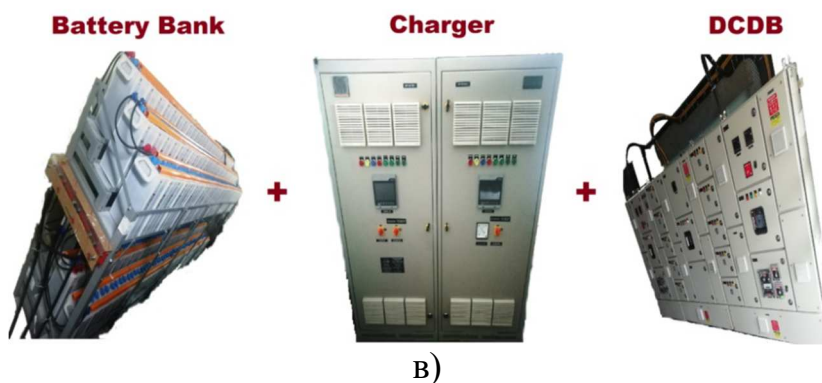
- акумуляторна система та зарядне обладнання - для резервного живлення (рисунок 1.8в).



а)



б)



в)

Рисунок 1.8 – Додаткове обладнання

Управління потоками енергії реалізується за допомогою її розподілу між різними лініями передачі та споживачами та регулюванням напрямків потоків енергії залежно від змін у навантаженні мережі. ВВП включає обладнання для організації резервного живлення для споживачів у разі аварій або пікових навантажень або використання альтернативних ліній або джерел для забезпечення безперебійного енергопостачання.

ВВП є не лише вузлом розподілу енергії, але й багатофункціональною системою, яка забезпечує стабільну та безпечну роботу енергосистеми загалом.

1.3 Параметри контролю та управління

ВВП потребують постійного моніторингу різних параметрів для забезпечення стабільної та безпечної роботи енергосистеми. Ці параметри можна розділити на дві категорії - електричні та технічні. Кожна з цих категорій має важливе значення для запобігання аваріям, оптимізації роботи підстанції та підтримки надійності енергопостачання. Електричними параметрами є [15, 16]:

- напруга;
- струм;
- потужність.

Напруга є одним з основних параметрів, який контролюється для забезпечення стабільності та безпеки мережі. Зміни напруги можуть свідчити про порушення в роботі мережі, а також негативно впливати на обладнання. Контроль напруги відбувається на вхідних та вихідних лініях ВВП, у трансформаторах і на різних етапах передачі енергії.

Струм визначає поточний обсяг електричної енергії, що передається по лініях. Його контролюють для попередження перевантажень і визначення стану роботи трансформаторів і вимикачів. Моніторинг сили струму проходить на всіх основних лініях ВВП, а контроль даного параметру

реалізований по кожному каналу для забезпечення правильного розподілу енергії.

Потужність характеризує кількість енергії, що передається, і є важливим показником для визначення ефективності роботи підстанції та її навантаження. Активна і реактивна потужність вимірюються для забезпечення належної роботи трансформаторів і ліній. Вимірювання активної та реактивної потужності відбувається на виходах ВВП та безпосередньо в мережі.

До технічних параметрів, які контролюються належать:

- температура обладнання;
- стан обладнання;
- вібрація обладнання;
- рівень ізоляції.

Контроль температури трансформаторів, вимикачів, кабелів та інших ключових елементів обладнання підстанції є одним із важливих аспектів у забезпеченні безпеки підстанції. Моніторинг забезпечується з використанням термометрів або тепловізорів.

Регулярне обстеження стану основних елементів підстанції (трансформаторів, вимикачів, ліній та ін.) необхідне для виявлення потенційних проблем або збоїв у роботі. Для цього виконується візуальна перевірка стану кабелів, ізоляції, корпусів обладнання з метою виявлення пошкоджень, корозії, втрат на ізоляції або порушень герметичності. Також перевіряється рівень масла у трансформаторах для виявлення потенційних витоків або його якості.

Невеликі вібрації можуть свідчити про механічні несправності в обладнанні, які можуть призвести до серйозних аварій. Тому для вимірювання вібрацій в основних компонентах підстанції, таких як трансформатори та вимикачі, використовуються спеціальні датчики.

Ізоляція обладнання є важливою для забезпечення безпеки роботи та запобігання коротким замиканням або витoku електричної енергії. Для

моніторингу якості ізоляції проводяться періодичні випробування і перевірки.

Контроль наведених електричних і технічних параметрів на ВВП дозволяє попередити аварії та знизити ризики пошкодження обладнання завдяки ранньому виявленню аномалій. Забезпечення стабільної роботи енергосистеми та зниження енергетичних втрат безпосередньо залежить від даних параметрів. Контроль та ефективне управління роботою ВВП забезпечить зниження ймовірності відключень або збоїв у постачанні електроенергії споживачам.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕЛЕУПРАВЛІННЯ

2.1 Структура і компоненти систем телемеханіки

Телемеханіка (ТМ) це галузь техніки, яка охоплює теорію та практику пристроїв для передавання інформації й управління на відстані в реальному часі (РЧ) [21]. Ці системи доповнюють КС, вирішуючи завдання контролю та управління технічними об'єктами (ТО). Існують два види систем ТМ [22]:

- ТМ централізованого контролю - контроль і управління ТО, розташованими на відстані, здійснюються з центрального пункту але безпосереднє управління виконується оператором. Для великих ТО завдання диспетчерського управління настільки складні, що постає потреба автоматизації самого диспетчерського процесу.

- телеавтоматизація управління є поєднанням автоматизації і ТМ, коли з центрального пункту виконується автоматична робота об'єктів, які є частинами загальної КС та розділені відстанню. У таких системах ТМ може взаємодіяти з керуючими машинами. Наприклад, інформація про хід виробничого процесу на окремих ділянках передається до керуючої машини, яка вже формує та передає відповідні команди на ці ділянки.

Пристрої ТМ виконують три основні функції, які дозволяють ефективно організовувати віддалений контроль і автоматизацію різних процесів [21-23]:

- телевимірювання (ТВ) - отримання значень величин, що характеризують режим роботи ТО;

- телеуправління (ТУ) - передавання сигналів управління, які впливають на виконавчі механізми (ВМ) ТО;

- телесигналізація (ТС) - передача сигналів про стан ТО або службових сигналів іншого призначення.

На рисунку 2.1 наведена схема, яка описує базовий принцип роботи

ТВ, де інформація про параметр передається на відстань, обробляється та виводиться для аналізу чи контролю.

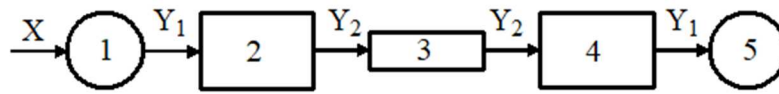


Рисунок 2.1 – Функціональна схема ТВ

У початковій точці контрольована величина X вимірюється датчиком (1), який перетворює її у пропорційну допоміжну величину Y_1 . Далі передавальний пристрій (2) через ЛЗ (3) передає дані до приймального пристрою (4) де ця величина перетворюється у величину Y_2 , яка подається на реєструючий прилад (5).

ТУ є процесом віддаленого управління ТО або системами із використанням сучасних інформаційних технологій, які забезпечують передачу команд, моніторинг стану та параметрів ТО в реальному часі (РЧ). Системи ТУ відрізняються можливістю дистанційної передачі керуючих сигналів на відстань за допомогою лінії зв'язку (ЛЗ) (рисунок 2.2.).

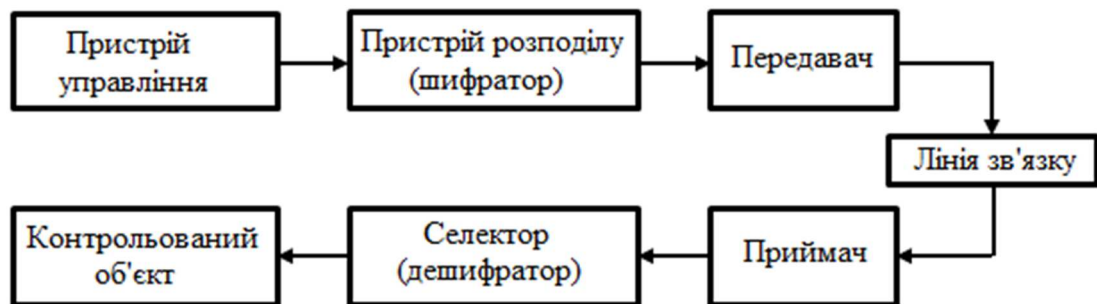


Рисунок 2.2 - Функціональна схема ТУ

Зазвичай вони обладнуються зворотним зв'язком - сигналізацією, яка також здійснюється через ту саму ЛЗ, що дозволяє підтверджувати виконання ТО отриманих команд. До складу систем ТУ входять елементи, які захищають від виконання «хибних» або випадкових команд. Будь-яка система ТУ включає такі основні елементи:

- пристрій управління - формує керуючі сигнали (команди) і

приймає зворотні сигналів від ТО;

- пристрій розподілу - забезпечує послідовне підключення однієї електричної ЛЗ до декількох інших ліній (органів управління). У деяких системах він доповнюється шифратором, який кодує сигнали в зручному для передавання форматі;
- передавальний пристрій - пересилає сигнали по ЛЗ;
- ЛЗ – канал для передачі сигналів на потрібну відстань;
- Пристрій прийому - приймає сигнали, передані по ЛЗ, і передає їх до наступного елементу системи;
- селектор – для вибору потрібного сигналу із множини переданих і спрямування його до ТО.

ТМ поєднує основні процеси, ТУ, ТВ, ТС, що дозволяє використовувати єдині методи передачі сигналів та одні й ті ж пристрої для виконання різних завдань. Основний принцип ТУ (рисунок 2.3) полягає в тому, що для кожного віддаленого ТО задається умовний сигнал, який активує певний ВМ [21].

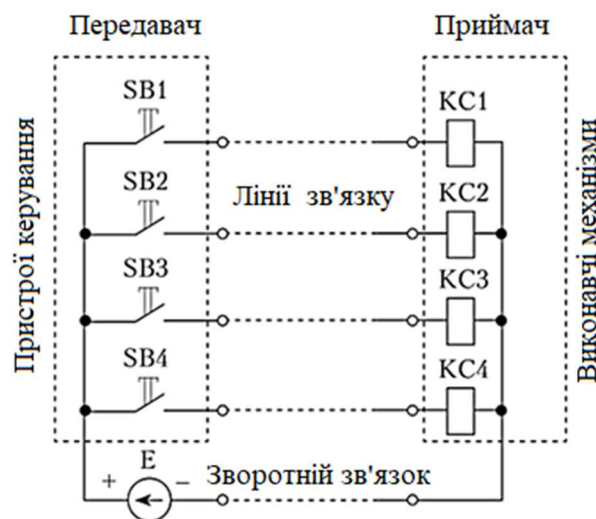


Рисунок 2.3 – Багатопровідний пристрій ТУ

У простій формі передача сигналів ТУ здійснюється незалежними імпульсами, кожен з яких відповідає конкретному ТО, наприклад: натискання кнопки SB1 відправляє сигнал, який активує реле KC1 і виконує задану команду (вмикання або вимикання).

У багатопровідних системах кожен сигнал передається через окрему пару ЛЗ або спільний зворотний провід, хоча його використання дозволяє знизити витрати для реалізації системи, це знижує її надійність через гальванічний зв'язок між лініями. Такі системи застосовуються лише для ТУ на невеликій відстані, до кількох сотень метрів. При прямому методі вибору кожна ЛЗ відповідає одному ТО, а передача здійснюється за допомогою імпульсу певних параметрів.

Щоб зменшити вартість ЛЗ та підвищити ефективність ТУ, застосовуються імпульсні сигнали з різними характеристиками, такими як полярність, частота, тривалість та амплітуда. Це дозволяє передавати більше інформації через одну ЛЗ, зменшуючи чутливість до перешкод. Одна фізична ЛЗ може використовуватися для одночасного передавання кількох різних сигналів за допомогою зміни їх характеристик. Тому якщо є $n+1$ ЛЗ, де одна лінія для живлення, можна передавати N сигналів

$$N = k \cdot n,$$

де k – кількість значень характеристик, що використовуються.

Прикладом такого ТУ може бути пристрій де для розподілу сигналів ТУ і ТС використовується амплітудна характеристика (рисунок 2.4), де $k = 2$, зокрема низька амплітуда - для сигналів контролю «вимкнено» та «увімкнено», висока - для сигналів керування «увімкнути» (SBC) чи «вимкнути» (SBT). Значення амплітуди відрізняються як мінімум у 2-3 рази. Такий пристрій використовується для ТУ двопозиційними ТО, вимикачами Q1 та Q2 та сигналізації про їх стан за допомогою лампочок різного кольору (HLG HLR). Струм управління, необхідний для спрацьовування реле управління КСС і КСТ, у кілька разів перевищує струм сигналізації, необхідний спрацьовування сигнальних реле KQC і KQT.

Для реалізації ТУ і ТС необхідно дві ЛЗ, кожна з них використовується для передачі однієї позиції управління та сигналізації протилежного стану ТО [22]. Таким чином, кількість ЛЗ зменшиться у 2 рази у порівнянні з багатопровідним ТУ.

- віддалене налаштування параметрів роботи, таких як напруга, струм, потужність, частота, температура, тощо;
- виявлення аварійних ситуацій, наприклад перевантаження, коротких замикань, перепадів напруги, та автоматичне відключення пошкоджених ділянок з метою запобігання серйозних пошкоджень;
- автоматичне переналаштування у роботі системи без участі операторів;
- збір та збереження інформації з метою подальшого аналізу, прогнозування можливих збоїв і оптимізації роботи ВВП.

Принцип роботи ТУ полягає у тому, що на розподільчому пристрої кожної ВПП встановлені силові вимикачі, які керують подачею та відведенням електроенергії через ЛЕП. Стан вимикачів дублюються їх вторинними блок-контактами, які пов'язані з проміжними реле та реле фіксації. Ці реле служать датчиками та мають два положення: «1» - увімкнено» та «0» - вимкнено. Інформація про стан вимикачів використовується в схемах ТС. Кожна ВВП оснащена системою місцевої сигналізації, яка інформує персонал про стан обладнання за допомогою світлових табло та звукових сигналів. Проте більшу частину часу ВВП працює без операторів [24].

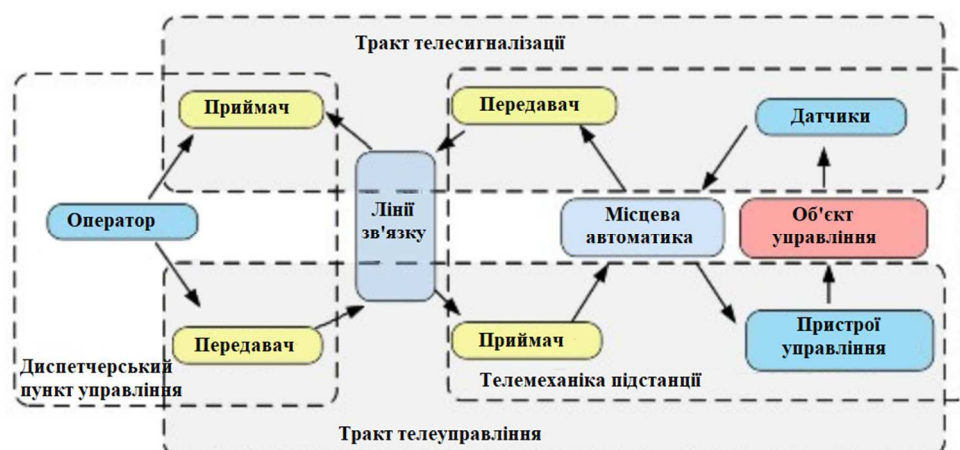


Рисунок 2.5 – Принцип роботи системи ТУ та ТС

Стан вимикачів кодується у вигляді двійкових значень «1» або «0», які передається через місцеву автоматику на передавач, який підключений до ЛЗ

провідного, телефонного чи радіо. На іншому кінці ЛЗ розташований ДПУ енергооб'єктами. Тут приймач отримує сигнали від прострою передавання, обробляє їх та представляє у зручному для оператора вигляді для оцінки стану ВВП та прийняття необхідних рішень.

Даних ТС буває недостатньо, тому вони доповнюється системою ТВ, яка дозволяє передавати показники отримані з датчиків, зокрема потужності, напруги та струму, на ДПУ. Система ТВ є складовою частиною комплексу ТМ, забезпечуючи більш повний контроль за станом ВВП.

Основними компонентами системи ТУ ВВП є контролери, що забезпечують обробку даних і передачу команд до обладнання на ВВП. Вони можуть бути:

- локальні - відповідають за управління окремими блоками обладнання,
- віддалені - з'єднані через мережу з центральними системами.

Контролери відповідають за інтеграцію різних елементів управління підстанцією та підтримку комунікації між ними.

Центральними елементами будь-якої комп'ютеризованої системи (КС) є сервери, що забезпечують зберігання даних, обробку запитів та управління підключеними пристроями. Вони виконують роль обчислювального центру, до якого підключаються інші компоненти системи.

Для вимірювання фізичних параметрів ВВП служать датчики, що є основним джерелом інформації для системи ТУ, на основі яких приймаються рішення для управління підстанцією.

Засобом для взаємодії людини з КС ТУ є автоматизоване робоче місце оператора (АРМО) ДПУ, що дозволяють отримувати інформацію в РЧ про стан ВВП та вносити корективи в її роботу. АРМО можуть включати графічні панелі, монітори, сенсорні екрани, а також системи оповіщення про критичні ситуації.

Сервери забезпечують централізовану обробку даних і управлінські команди, передаючи їх на контролери, які здійснюють локальне управління.

Сенсори постійно передають інформацію про фізичні параметри системи на сервери, де вона обробляється для прийняття рішень. АРМО забезпечують взаємодію з усіма рівнями КС ТУ, контроль та керування ними в РЧ, що є важливим для операційних процесів.

Компоненти КС ТУ працюють в інтегрованій мережі, забезпечуючи моніторинг, контроль, автоматизацію та оперативне реагування на зміни стану ВВП для забезпечення надійної роботи енергосистеми.

2.3 Системи телеуправління високовольтними підстанціями

У сучасній енергетиці використовується кілька типів рішень для автоматизації та управління високовольтними підстанціями. Найпоширенішими є SCADA-системи, а також інтегровані платформи для моніторингу та управління. Залежно від потреб, ці системи можуть варіюватися за функціональністю та складністю.

SCADA - це система, яка дозволяє здійснювати дистанційне управління та моніторинг енергосистем, у тому числі й високовольтних підстанцій (рисунок 2.6) [25].

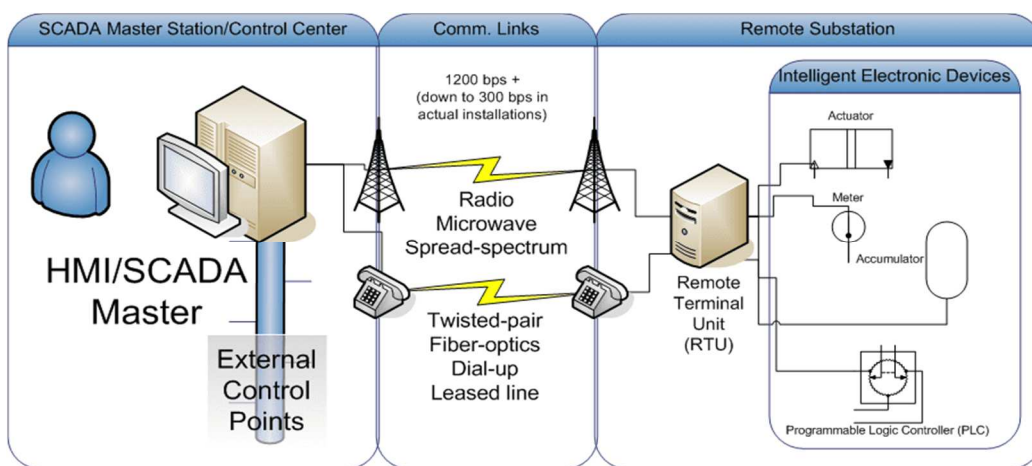


Рисунок 2.6 – Структура SCADA системи

SCADA-системи забезпечують збір і аналіз даних, а також здійснення контролю над різними параметрами, такими як напруга, струм, температура обладнання, потужність, стан трансформаторів і вимикачів.

Основними компонентами SCADA-систем є:

- пристрої збору даних - це різноманітні датчики, що вимірюють фізичні параметри (наприклад, рівень напруги, температура), а також блоки контролю та управління, підключені до мережі.
- центр моніторингу та управління - це програмне забезпечення, яке дозволяє операторам віддалено керувати обладнанням підстанцій, переглядати зібрані дані в реальному часі та вживати необхідних заходів у разі виявлення аномалій.
- засоби зв'язку - це ЛЗ між підстанціями та центром управління, які забезпечують передачу інформації про стан обладнання ТО і параметри мережі.

Серед переваг використання SCADA-систем для управління електромережами, зокрема ВВП є можливість моніторингу в РЧ, що дозволяє операторам отримувати актуальну та достовірну інформацію про стан обладнання та мережі. Система забезпечує автоматичне виявлення порушення в роботі обладнання і попередження аварій, що дозволяє швидко вжити заходів для мінімізації наслідків. Можливість віддаленого управління обладнанням підстанції з будь-якої точки світу дозволяє значно знизити витрати на обслуговування і підвищувати ефективність роботи.

Прикладом SCADA-систем є Siemens SICAM - потужний блок автоматизації розподілу електричної енергії [26]. Він підтримує функції SCADA для моніторингу, управління та автоматизації, включаючи швидку ізоляцію пошкоджень, керування напругою і реактивною потужністю, а також автоматичне управління вимикачами й трансформаторами.

SICAM поєднує апаратні засоби (АЗ), зокрема датчики, RTU, модеми, маршрутизатори, з програмним забезпеченням (ПЗ), забезпечуючи точний контроль, реєстрацію якості електроенергії та оптимізацію системи. Він також дозволяє швидко виявляти несправності, економити час і ресурси, дотримуватись заданих параметрів напруги та підвищувати загальну ефективність мережі.

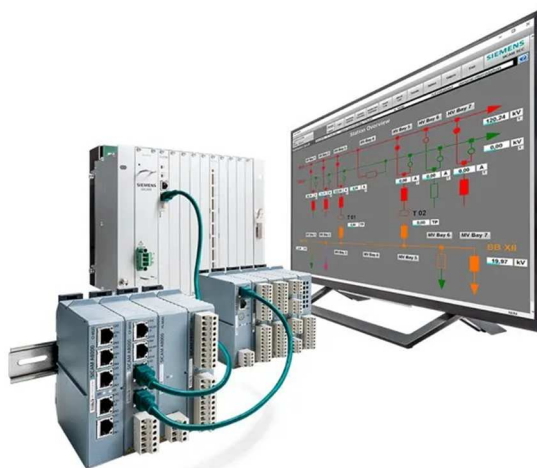


Рисунок 2.7 - Блок автоматизації підстанції SICAM

EcoStruxure Power SCADA (рисунок 2.8) це рішення для моніторингу та управління енергетичними мережами. Забезпечує централізований контроль та управління ВВП, оптимізуючи розподіл енергії та підвищуючи ефективність роботи системи. ПЗ надає операторам доступ до точної та актуальної інформації, що полегшує прийняття рішень і реагування на зміни в мережі [27].

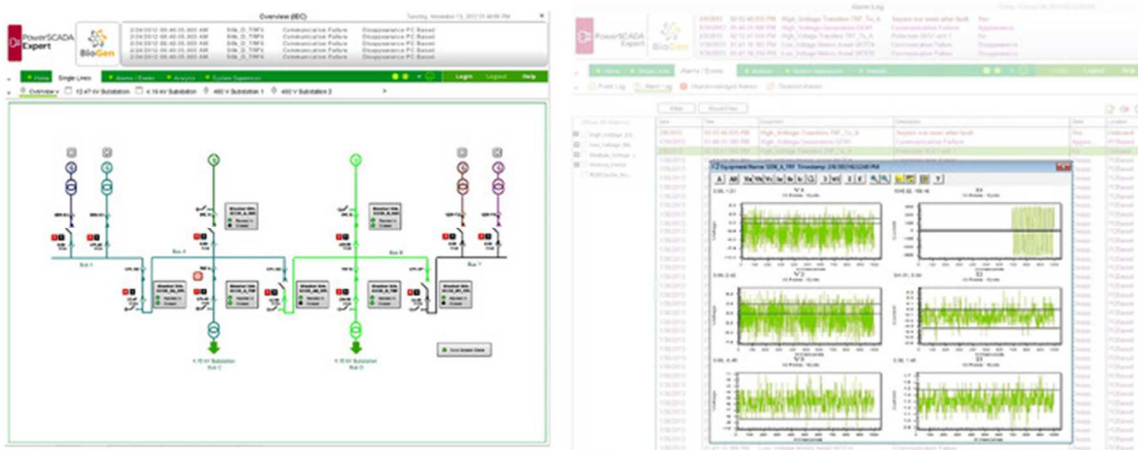


Рисунок 2.8 – EcoStruxure Power SCADA

Система легко інтегрується з існуючими системами, має можливість масштабування відповідно до змін у навантаженні чи розширенні інфраструктури. Система також підтримує виявлення несправностей і планування профілактичних заходів, що допомагає підвищити надійність та безпеку електромереж.

iFix GE Digital (рисунок 2.9) забезпечує інструменти для візуалізації, підтримки мобільних платформ останнього покоління, управління процесами та багато інших функцій. Система має багато варіантів підключення та відкриту архітектуру [28].



Рисунок 2.9 – Система iFix

Сучасна технологія SCADA HMI характеризується відкритістю, гнучкістю та масштабованістю. Вона забезпечує централізоване управління та інтерфейс для збору та аналізу даних з енергетичних об'єктів. Система використовує технології HTML5, об'єктно-орієнтоване програмування та уніфіковане середовище конфігурації для швидкої розробки, розгортання та експлуатації.

Існує ряд інших платформ та технологій [29-31], наприклад системи розподіленого управління, що використовуються для автоматизації складних промислових процесів, зокрема для управління підстанціями. Вони відрізняються надійністю, можливістю інтеграції різних датчиків та контролерів, а також здатністю до роботи в умовах великих навантажень. Системи для управління енергоспоживанням і оптимізації роботи енергосистеми, зокрема для моніторингу та управління енергетичними потоками на підстанціях. Вони дозволяють операторам здійснювати контроль за розподілом потужності, регулювати попит на електроенергію та забезпечувати баланс між її виробництвом і споживанням. В рамках

інтернету речей використовуються сенсори для збору даних у РЧ, які передаються на хмарні платформи для аналізу та віддаленого управління. Ці технології активно впроваджуються для модернізації ВВП, дозволяючи підвищити гнучкість та знизити витрати на обслуговування.

Існуючі рішення для ТУ ВВП, зокрема SCADA-системи, є важливим елементом сучасних енергетичних мереж, що дозволяють забезпечити надійний контроль, захист і управління підстанціями, оперативно реагувати на зміни у параметрах мережі та усувати потенційні проблеми. Перевагами використання таких систем ТУ є високий рівень автоматизації процесів управління енергетичними потоками, збір даних у РЧ та інтеграція з іншими системами для досягнення максимальної ефективності.

Проте, існуючі системи ТУ мають ряд недоліків, зокрема в аспектах безпеки, масштабованості, швидкості обробки даних і витрат на обслуговування. Тому необхідно впроваджувати новітні технології, вдосконалювати методи захисту, а також покращувати інтеграцію різних платформ для забезпечення більшої ефективності та надійності енергетичних мереж.

2.4 Архітектура систем телеуправління

Архітектура систем ТУ ВВП визначає ефективність роботи. Вона включає компоненти та рівні управління, що забезпечують функціональність системи в цілому. Структура системи має бути побудована таким чином, щоб забезпечити оптимальну взаємодію між АЗ та ПЗ, а також швидку реакцію на зміну параметрів підстанції, аварійні ситуації та збої.

Централізована модель ТУ (рисунок 2.10) передбачає, що вся інформація та команди управління проходять через центральний вузол [32]. Усі пристрої, контролери, сенсори, ВМ, підключені до цього центру, і всі дані обробляються в центральному пункті - сервері. Це дозволяє забезпечити високий рівень координації та контроль, проте такий підхід може створювати

навантаження на центральні ресурси в разі масштабних підстанцій або численних аварійних ситуацій.

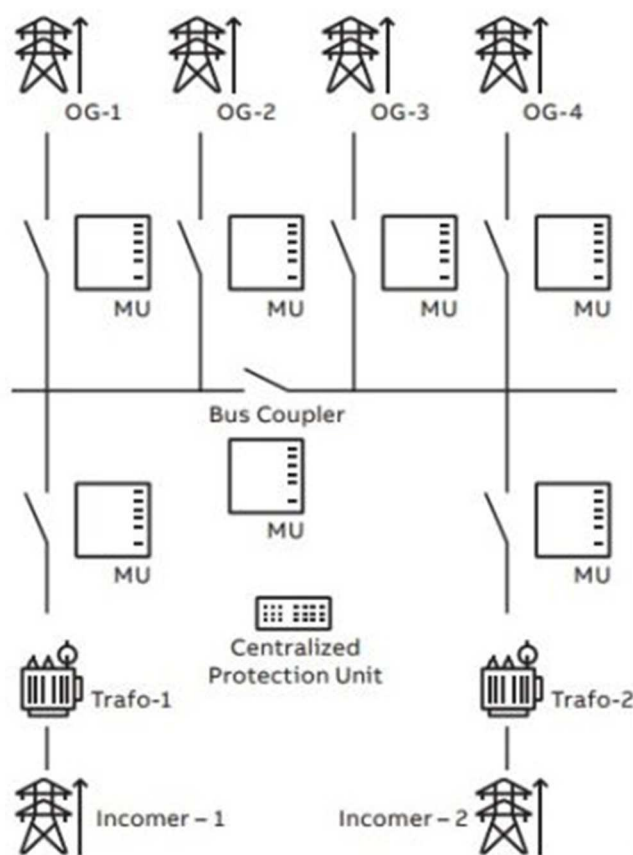


Рисунок 2.10 – Централізоване управління

На рисунку 2.10 показана схема підстанції з централізованою системою захисту та управління, де Incomer - вхідні ЛЕП, які подають електроенергію на ВВП, OG - вихідні лінії, які передають електроенергію до споживачів або інших частин мережі, MU - модулі об'єднання забезпечують збір даних про параметри з трансформаторів (Trafo) і передає їх у цифровій формі до централізованого блоку захисту та управління (CPU). Bus Coupler - елемент з'єднує або роз'єднує секції шин для гнучкого управління потоком енергії.

Така архітектура дає змогу забезпечити повний контроль над системою з одного місця. Всі дані з підстанцій передаються до центрального сервера, що обробляє їх і надає команди. Це спрощує керування, реалізує централізоване зберігання інформації, єдиний контроль за станом усіх підсистем. Проте може створювати проблеми в разі збоїв або навантажень на

центральний вузол. При такій архітектурі на центральний сервер здійснюється високе навантаження, що викликає можливість виникнення затримок у передаванні даних при великих обсягах або великій кількості підстанцій, ризики втрати керування при відмові центрального сервера.

При децентралізованій архітектурі ТУ (рисунок 2.11) кожен компонент або сегмент мережі має власний контролер, який приймає деякі управлінські рішення, що дозволяє системі залишатися функціональною навіть при відмові одного з елементів [32]. Управління здійснюється на декількох рівнях, тобто кожна підстанція має свої контролери та локальні сервери, які обробляють дані й приймають рішення незалежно від центрального вузла. Це дозволяє знизити навантаження на центральну частину системи та зберегти функціональність в разі відмови окремих компонентів.

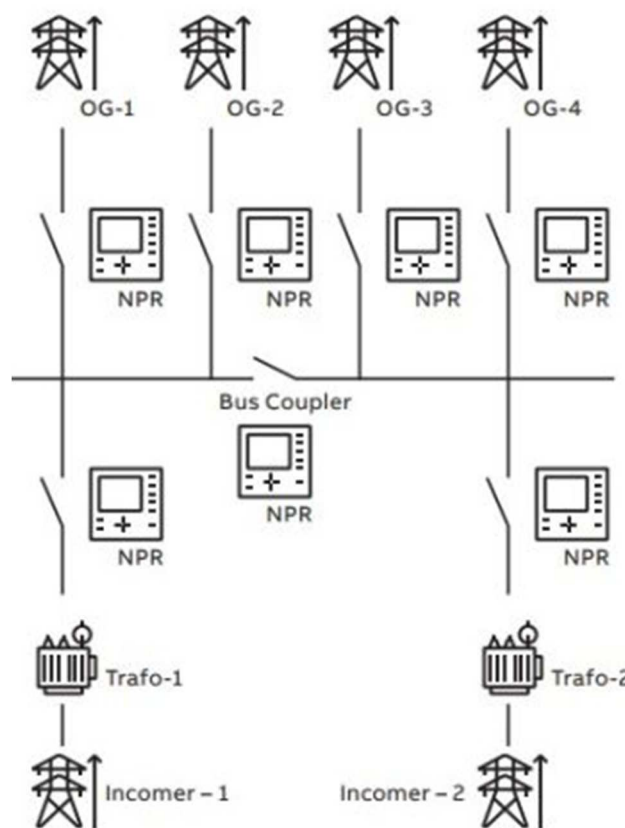


Рисунок 2.11 – Децентралізована модель

Децентралізована архітектура ТУ підстанцією передбачає розподілення функцій захисту між цифровими реле (NPR), що виконують функції захисту, вимірювання та моніторингу. Вони працюють автономно з мінімальною

взаємодією і кожне відповідає за окремі завдання. Не зважаючи на можливість інтеграції кількох функцій в одному пристрої завдяки сучасним мікропроцесорам, обробка і логіка залишаються незалежними для кожного елемента підстанції, що ускладнює координацію між пристроями, знижує ефективність і підвищує трудомісткість обслуговування, оскільки кожне реле потребує окремого налаштування та підтримки.

Особливості таких систем полягають у тому, що кожна підстанція має свій локальний сервер та контролери, які забезпечують автономне управління в разі необхідності. Це дозволяє досягнути підвищення надійності, зменшення залежності від центрального вузла, більшої гнучкості та реалізації локальних рішень. Проте це зумовлює складності інтеграції між різними підсистемами, потребу в більш складній інфраструктурі та обслуговуванні. Це викликає складності управління та координації між різними елементами.

Гібридні системи ТУ (рисунок 2.12) поєднують переваги попередніх підходів.

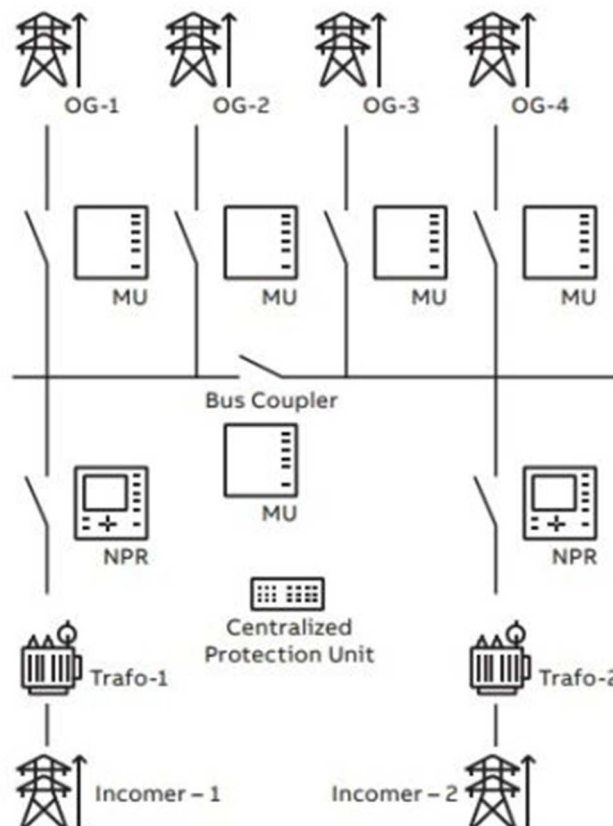


Рисунок 2.12 – Гібридна архітектура

У такій системі для основних операцій управління використовується

централізований сервер, а для оперативних задач - локальні контролери, що забезпечують швидке реагування в РЧ. Цей підхід дозволяє поєднати надійність традиційного релейного захисту з гнучкістю і функціональністю сучасних інтелектуальних систем. Мікропроцесорні реле, які є частиною блоків об'єднання (MU), забезпечують захист і зв'язок між локальними системами захисту (NPR) та централізованою системою моніторингу і управління (CPU), що дозволяє підвищити рівень безпеки і надійності роботи підстанцій та мереж.

Перевагою таких систем ТУ є висока надійність, можливість швидкої реакції на локальні події та здійснення централізованого контролю за технологічними операціями та обладнанням. Проте складна архітектура та високі вимоги до інтеграції різних систем обмежують практичне використання систем даного типу.

Наведені схеми архітектур системи ТУ ВВП, мають пристрої для захисту, які можуть бути дистанційно контрольованими, використовують передачу даних про стан обладнання та параметри мережі для управління та моніторинг через цифрові комунікаційні протоколи. Однак повна система ТУ включає також сервери SCADA для диспетчеризації, ЛЗ між підстанцією і ДПУ та ряд інших пристроїв та систем:

- контролери та автоматичні пристрої, що виконують автоматичне управління, зокрема регулюють напругу, струм і інші параметри, виявляють аварії;
- сервери та комп'ютерні платформи, які забезпечують зберігання і обробку даних, виконують функції прийому та передачі команд від оператора, інтегрують усі елементи системи;
- інтерфейси оператора, що реалізують можливість оператору контролювати і налаштовувати систему через графічні або текстові інтерфейси;
- мережі передавання даних - для обміну інформацією між різними компонентами системи, що можуть бути провідними або безпроводними,

наприклад мобільні мережі, радіозв'язок.

Для комунікації між компонентами в системах ТУ використовується ряд протоколів. До основних можна віднести:

- Modbus, DNP3 та IEC 61850 - стандарти, що використовуються для з'єднання контролерів з датчиками та іншими пристроями. Вони гарантують надійність та цілісність даних, забезпечують синхронізацію та коректне передавання команд між елементами системи.

- TCP/IP - забезпечує з'єднання між центральним сервером і віддаленими пристроями, такими як контролери та АРМО, і є основою для комунікацій в більших системах.

- CAN - використовується в енергетичних системах для зв'язку між різними частинами обладнання на ВПП.

- Ethernet – широко використовуються завдяки високій швидкості, надійності та здатності підтримувати масштабовані мережі з великою кількістю пристроїв. Він інтегрується з іншими протоколами, такими як Modbus, DNP3 та IEC 61850, і є частиною сучасних інтелектуальних енергетичних мереж.

- Wi-Fi (IEEE 802.11) - безпроводний стандарт, що забезпечує високу швидкість з'єднання через радіохвилі в діапазоні 2.4 GHz або 5 GHz великої кількості пристроїв.

- LoRaWAN - протокол безпроводного зв'язку на великих відстанях з низьким споживанням енергії, що підходить для IoT-пристроїв і вимірювальних систем. Має низьку швидкість передачі порівняно з Wi-Fi.

Наведені протоколи забезпечують не лише зв'язок компонентів, а й надійність системи. Вони гарантують цілісність і конфіденційність даних через захищені ЛЗ, високу доступність за допомогою механізмів резервування і відновлення після збоїв та своєчасне передавання даних, що важливо для управління ВПП в РЧ.

Датчики, мікроконтролери та інші компоненти є важливою частиною архітектури системи ТУ ВВП, оскільки вони забезпечують збір даних,

первинну обробку та передачу інформації в систему. Датчики є першими ланками у зборі інформації про технічні параметри обладнання підстанції. Вони вимірюють фізичні величини, такі як напруга, струм, температура, потужність тощо, та передають ці дані для подальшої обробки. Датчики можуть бути:

- електричні датчики (наприклад, датчики напруги, струму, потужності);
- температурні датчики для вимірювання температури трансформаторів, вимикачів і іншого обладнання;
- датчики вібрації, тиску - для контролю стану механічних частин обладнання.

Датчики встановлюються безпосередньо на обладнанні ВВП або в безпосередній близькості до нього та підключаються до мікроконтролерів або спеціалізованих пристроїв, що забезпечують передавання інформації.

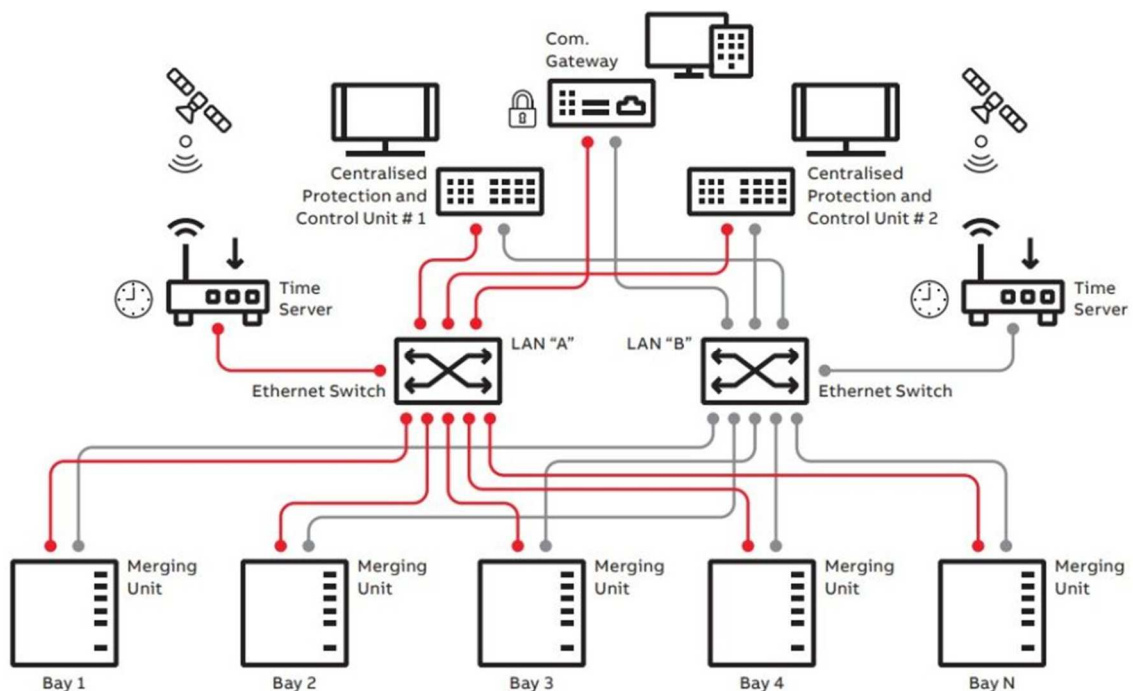


Рисунок 2.13 – Компоненти системи ТУ

Мікроконтролери є компонентами для первинної обробки даних, що надходять від датчиків. Вони здійснюють аналіз значень, фільтрацію, перевірку на відхилення від норми та інші операції, а також передають цю

інформацію в основну систему управління. Функції мікроконтролерів включають:

- збір і первинна обробка даних від датчиків;
- контроль виконання команд, отриманих від центрального серверу або оператора;
- передавання даних у централізовану або децентралізовану систему для подальшого аналізу.

Мікроконтролери зазвичай розташовуються на кожному пристрої або у спеціалізованих модулях для збору і обробки даних. У деяких випадках, вони можуть бути інтегровані в частини обладнання підстанцій, наприклад, в автоматичні вимикачі, трансформатори або перетворювачі.

Для забезпечення безперебійного і ефективного обміну інформацією між мікроконтролерами, датчиками та центральною системою ТУ використовуються протоколи передачі даних. Це може бути як провідна, через мережі RS-485, Ethernet, Modbus, так і безпроводна передача. Інтерфейси передачі даних забезпечують зв'язок між і центральними контролерами або серверами.

Мікроконтролери можуть бути підключені до шини або мережі для забезпечення централізованого або децентралізованого збору даних. Локальні контролери включають пристрої, що виконують первинну обробку і передають дані в центральний сервер для аналізу і прийняття рішень. У разі централізованих систем, всі дані з ТО можуть збиратися і оброблятися на одному сервері, де оператор здійснює моніторинг та управління. Локальні контролери можуть бути розташовані безпосередньо в кожній підстанції і взаємодіяти з мікроконтролерами та датчиками. Центральний контролер або сервер збирає дані з локальних контролерів і проводить комплексний аналіз.

Оператори взаємодіють з системою через інтерфейси, які відображають всю інформацію з ТО у вигляді зрозумілих графічних панелей. ПЗ, розміщене на центральному сервері для моніторингу та управління, аналізує дані, виявляє аномалії та приймає рішення щодо управління. АРМО дозволяє

налаштування, отримує сигнали тривоги, і можуть створювати команди на включення чи вимкнення певних АЗ.

В архітектурі системи ТУ ВВП датчики, мікроконтролери та інтерфейси працюють разом, забезпечуючи ефективний збір даних, їх первинну обробку та передачу в центральну систему управління. Це дозволяє не лише здійснювати моніторинг параметрів ТО, а й автоматично реагувати на аварійні ситуації, підвищуючи безпеку та надійність енергосистеми.

2.5 Вимоги до проектованої системи

Проведений аналіз предметної області дозволяє сформулювати вимоги до проектованої КС ТУ ВВП, що стосуються основних аспектів функціонування ТО. КС повинна швидко обробляти велику кількість даних від датчиків та інших пристроїв. Для цього необхідні потужні сервери, швидкі комунікаційні протоколи і розподілена обробка даних, щоб уникнути затримок у прийнятті рішень.

Система ТУ повинна забезпечувати моніторинг параметрів ВВП та реагування на аварійні ситуації в режимі РЧ. Важливим є забезпечення мінімальних затримок у передачі команд між операторами та ТО, особливо для ТУ, що реалізує автоматичне управління без участі оператора. Система повинна ефективно працювати з великою кількістю підключених пристроїв і забезпечувати моніторинг та управління на різних рівнях.

Проектована система повинна бути гнучкою, щоб в разі розширення енергетичної мережі, зокрема додавання нових підстанцій чи ТО, її можна було легко масштабувати, зберігаючи стабільність роботи. Це зумовлює використання модульної архітектури та можливості додавання нових компонентів без значних змін у системі.

Технічні рішення повинні дозволяти інтегрувати систему ТУ в існуючу інфраструктуру енергетичної мережі. Важливо враховувати сумісність з вже використовуваними протоколами, програмним забезпеченням та іншими

системами. В проєктованій системі ТУ повинна передбачена можливість інтегрування з різними типами обладнання, яке використовується на ВВП, включаючи старі моделі, що дозволить забезпечити можливість гнучкості та поєднання технологій. КС має бути сумісною з системами керування, SCADA що вже використовуються.

Система повинна мати резервування на всіх рівнях - від серверів до комунікаційних ЛЗ, щоб гарантувати безперервність роботи навіть у разі технічних несправностей. Можливість аварійного відновлення та безперервного моніторингу є необхідними для забезпечення стабільності роботи ВВП тому КС повинна забезпечувати безперебійний зв'язок навіть в умовах обмеженої пропускної здатності ЛЗ або в разі відмови частини мережі. У випадку аварійної ситуації система повинна мати функції автоматичного відновлення і переведення обладнання в безпечний режим.

Додатково КС має мати зручний інтерфейс для відображення всіх необхідних параметрів в реальному часі, з можливістю легкого налаштування і перегляду архівних даних та включати алгоритми для аналізу даних, які допомагають визначати передаварійні стани або аварії на підставі наявних трендів, а також підтримувати функцію генерації звітів для аналізу та оцінки роботи.

Проектowana система ТУ повинна забезпечувати високий рівень надійності, безпеки та швидкодії, бути масштабованою та адаптивною до змін і технічних вдосконалень. Це дозволить знизити ймовірність технічних відмов, підвищити ефективність управління енергетичними потоками та покращити безпеку і стабільність енергетичної інфраструктури.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕЛЕУПРАВЛІННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОЮ ПІДСТАНЦІЄЮ

3.1 Технічне забезпечення проекрованої системи

Обладнання КС призначене для дистанційного ТУ, передачі сигналів ТВ та ТС з контрольованого ТО, зокрема ВВП а також для отримання відповідних даних на ДПУ. До складу технічних засобів входить обладнання керування ТМ, що включає засоби радіозв'язку, зокрема антени, блок системного годинника для синхронізації часу в системі та грозозахист для захисту від перенапруг, які можуть виникати в грозу. Шафа керування (ШК) включає радіостанцію, блок безперебійного живлення (ББЖ) 12В, розрядник для захисту від короточасних перенапруг, реле для контролю напруги в системі, автоматичні вимикачі, що забезпечують вимикання системи при виникненні аварійних ситуацій. Блок збору та передачі даних (БЗПД) включає додаткові підсистеми, як модуль модема та контролер збору даних (КЗД) до ДПУ. Блок керування реле включення/відключення антен для управління в залежності від необхідності у розподілі електричної енергії. Блоки керування ТС та ТВ відповідають за керування системами, які використовуються для сповіщення, вимірювання і моніторингу параметрів процесів на ВВП.

Технічні дані обладнання проекрованої системи передбачають підтримку сучасних протоколів передачі даних, наприклад, Modbus TCP/IP, IEC 61850, що дозволить забезпечити ефективну та безпечну передачу інформації. Швидкість передавання даних ТС, ТВ та ТМ до верхнього рівня КС будуть визначатися швидкістю обміну даних в локальній мережі. Швидкість передачі між ДПУ і ВВП визначатиметься типом ЛЗ, для радіоканалу вузької смуги складе 2400 б/с.

Обладнання ТУ забезпечує ретрансляцію даних радіоканалами, зокрема керування не тільки для однієї ВВП, але й для інших контрольних ТО, що

знаходяться в межах досяжності радіозв'язку. Передача даних від необмеженої кількості лічильників електроенергії, передають свої показники через шинний інтерфейс RS485. Це дозволяє зчитувати дані з лічильників на підстанціях, причому кількість лічильників може бути будь-якою, залежно від потреб кожної конкретної підстанції. Інформаційний обмін із мікропроцесорними пристроями захисту та автоматики, що підтримують стандартні протоколи, такі як MODBUS дозволяє інтегрувати в систему різні пристрої контролю.

КС забезпечує можливість супроводжувати дані про передачу сигналів ТС та ТВ з точними мітками часу з точністю $\pm 0,5$ секунди за допомогою системного годинника (СГ), що дозволяє точно відслідковувати події та їх хронологічну послідовність. Всі події, що стосуються сигналів ТС і ТВ, реєструються в енергонезалежній пам'яті обсягом 2048 кб.

Для проведення діагностики та налаштування передбачено підключення ноутбука із відповідним ПЗ, що дозволяє проводити технічне обслуговування та моніторинг роботи системи. Технічні засоби ТУ забезпечують ідентифікацію працездатності апаратури, виявлення несправностей та передачу відповідних діагностичних даних на ДПУ.

Для обробки аналогових сигналів передбачено їх перетворення в двійковий код з точністю перетворення не менше 1%, що визначається характеристиками первинних датчиків. Комутація ВМ, наприклад, реле, відбувається при номінальній напрузі 220 В з повною гальванічною ізоляцією для вхідних кіл. Це дозволяє забезпечити безпеку від можливих коротких замикань чи інших аварійних ситуацій. Обладнання має гальванічну ізоляцію між датчиками (ТС, ТВ, ТУ) та апаратурою ДПУ, щоб запобігти впливу високих напруг на електричні компоненти, що досягається шляхом використання спеціальних блоків живлення та елементної бази.

Для управління механізмами, обладнання дозволяє регулювати час утримання вихідних кіл ТУ, наприклад, вмикання-вимикання певних пристроїв, в робочому стані, з дискретністю в 0,5 с.

Для забезпечення безперервної роботи засобів ТУ навіть при відключенні електроенергії, передбачена автономна робота до 8 годин з використанням ББЖ. Це особливо важливо в умовах частих перебоїв в енергопостачанні.

Обране обладнання дозволить забезпечувати високу надійність, точність вимірювань, гнучкість в налаштуваннях і контроль за різними параметрами в рамках керування технологічними процесами на ВВП. Комплекс АЗ реалізує можливість конфігурації та налаштування параметрів кожної окремої підстанції залежно від її характеристик, умов експлуатації та специфічних потреб. КС ТУ дозволяє адаптувати її до змін у параметрах енергомережі, що можуть виникати під час модернізації або розширення інфраструктури.

3.2 Структурна схема комп'ютеризованої системи телеуправління

Структура КС ТУ залежить від способу її побудови. Для реалізації проекрованої системи обрано централізоване управління, де обладнання об'єднане у одній шафі керування. Такий підхід дозволяє операторам;

- швидко реагувати на події завдяки використанню сучасних інструментів візуалізації та управління тривогами;
- отримувати точну ситуаційну інформацію через вископродуктивні SCADA-системи, що дозволяють моніторити і управляти технологічними процесами в режимі РЧ;
- ефективно усувати несправності завдяки наявності інформації про стан всієї системи;
- оптимізувати управління завдяки інтеграції архівних даних та даних, отриманих в РЧ, що забезпечує ефективний аналіз і управління технологічними процесами.

Проектована КС реалізована за модульним принципом, де кожен блок системи містить контролер керування на базі мікропроцесора, і може

виконувати передбачені функції, наприклад моніторингу сигналів ТС, ТВ, тощо, автономно. Блоки об'єднані за допомогою внутрішньої шини RS485. Управління роботою всіх блоків здійснюється блоком КЗД, зв'язок з яким реалізується за допомогою радіомодема під'єданого шиною RS232.

Приклад структурної схеми централізованого ТУ наведено в додатку А.

Інформація за допомогою модему надходить до блоку КЗД., де дані обробляються. В результаті виробляється команда управління для відповідного блоку ВВП. Після того, як команда виконується на блок КЗД поступає відповідна інформація. Блоком ВМ формується пакет даних і передається радіоканалом на обладнання ДПУ ВВП. Обладнання ВВП забезпечується живленням 220В з використанням безперебійного блоку живлення, який з'єднаний з мережею через автоматичне реле, що контролює напругу.

3.3 Принцип роботи проектованої системи

Принципи роботи КС ТУ базуються на стандарті ІЕС 60870-5-101, зокрема його розширенні ІЕС 60870-5-104 [33], які використовуються для організації автоматизованого управління та моніторингу обладнання в енергетичних системах.

В основі роботи КС покладено принцип «ведучий-ведений», де «ведучий» - це обладнання ДПУ, яке ініціює обмін даними, а «веденим» є обладнання контролю і керування параметрами, яка працює автономно і відслідковує стан ВВП. ДПУ постійно здійснює опитування АЗ з певною циклічністю для того, щоб отримати інформацію про стан ВВП.

Аппаратура ДПУ працює в автономному режимі та відстежує роботу ТО, наприклад, стан різних датчиків і пристроїв на ВВП. Якщо з'являються аномальні ситуації, наприклад, зміни параметрів або несправності, обладнання фіксує це і надсилає інформацію на ДПУ під час наступного сеансу зв'язку. Якщо ж процеси протікають у штатному режимі, тобто без

самовільних змін, ДПУ надсилається повідомлення, яке підтверджує, що параметри стабільні.

Вся інформація, що передається між обладнанням системи ТУ, має часові мітки, які синхронізовані з системним годинником, що дозволяє точно фіксувати момент отримання чи відправки моніторингових даних, що дозволяє в подальшому їх використання для аналізу і контролю.

Обладнання, встановлене на ДПУ, разом із спеціальним ПЗ та за допомогою використання ЛЗ Ethernet забезпечує ефективну взаємодію між різними компонентами КС. Для ВВП, де відсутній безпосередній радіозв'язок з ДПУ, КС може оснащуватися спеціальним ретранслятором. Він працює через радіомодеми та дозволить забезпечити зв'язок між обладнанням на ВВП ДПУ.

3.4 Розробка блоку збору та передачі даних

БЗПД призначений для прийому сигналів від апаратури ДПУ та вироблення й передавання АЗ ВВП подіомлень у відповідь на команди управління. Також даний блок реалізує розподіл інформації, що надходить між блоками керування ТС, ТВ, ТУ, блоком керування лічильниками і управління обміном даними між контролерами цих блоків. БЗПД забезпечує зберігання даних щодо роботи ВВП, архівування інформації про аварійні стани з фіксацією часу згідно GPS.

Структурна схема БЗПД наведена в додатку Б.

Він включає модуль модему (ММ) та КЗД. ММ з манчестрський кодуванням, що використовує два рівні, перехід з високого в низький рівень сигналу кодується як «0» та зворотній перехід - «1». Перевага такого способу в тому, що кожен біт містить інформацію і тактову синхронізацію. Пристрій використовується в КС для формування і передачі даних, прийому та відтворення прийнятої інформації в цифровий вигляд, а також як ретранслятор.

ММ складається наступних компонентів, що наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Компоненти ММ

Назва	Керування
Мікропроцесор контролера керування	DD2, DD3, Z1, S1, R29, R32, R35, R64÷R67, C31 - C38, S2
Інтерфейс вхідних-вихідних кодограм	DA1 - DA5 VD1, VT1, VT2, R1, R8 - R28, R30 - R32, R30 - R32, R33, R34, R36 - R46, R52 - R63, C1 - C21, C23 - C28
Блок індикації	DD1, H1 - H4, R47 - R51, C22
Блок налаштування режимів роботи	S1, R2 - R7

Налаштування режиму роботи ММ відбувається за допомогою відповідного ПЗ, що зберігає мікропроцесор контролера керування (КК) (мікросхема DD2). DD2 програмується за допомогою програматора через роз'єм X2. Скидання DD2 можливе у випадку поступлення сигналу «0» на вхід RST DD2, який формується мікросхемою DD3 при живленні ШК.

Вибір режиму роботи ММ реалізується за допомогою перемикача S3 згідно таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Вибір режимів роботи ММ

Показник	Кількість блоків ТВ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Інверсія фази ПРМ								+
Інверсія фази ПРД							+	
Адресний / Прозорий			-/+					
Переферія / Центр		-/+						
Робота / Тест	-/+							

КЗД (DD2 порт P1 PA9-PA12) формує цифровий код, який передається через інтерфейс RS232 на порт P2 (PA0-PA3) контролера керування (КК) модемом, що побудований на основі мікропроцесора STM32F303RCT6. КК модемом конвертує код у варіант манчестерського коду з особливостями синхронізації «Манчестер-2». Пропускає отриманий сигнал через НЧ фільтр Гауса 8-го порядку (DA2, DA4), який забезпечує лінійність фазової характеристики сигналу. Це потрібно для мінімізації спотворень і збереження синхронізації. Далі сигнал виводиться на лінійний вхід підмодулятора радіостанції, що за допомогою транзисторного ключа (VT2) переводить її в режим роботи передавача. Радіостанцію приймає дані, які закодовані у форматі Манчестер-2, і передає їх на фільтр НЧ Гауса 8-го порядку (DA1, DA5), забезпечує відновлення сигналу з лінійною фазовою характеристикою для подальшої обробки. Далі сигнал із виходу НЧ фільтру надходить на АЦП мікропроцесора STM32F303RCT. КК модемом конвертує прийнятий сигнал з Манчестер-2 назад у цифровий код і передає його через RS232 на порт P1 (PA9-PA12) блоку КЗД для подальшої обробки й формування сигналів управління обладнанням ВВП. Узгодження параметрів роботи модемному і радіостанції для забезпечення якісної передачі інформаційних сигналів можливе за допомогою:

- перемикач S1 - включає режим інверсії фази сигналу як для прийому так і для передачі;
- резистор R24 - призначений для встановлення значення напруги сигналу, що подається на АЦП мікропроцесора і фіксується на рівні 300мВ;
- резистор R58 - для забезпечення стабільного і якісного вихідного радіосигналу сигналу, рівень якого повинен має бути таким, щоб забезпечити відхилення частоти несучого сигналу передавача 2,3кГц. Для цього, радіостанція переводиться в режим передачі, що дозволяє відправляти тестовий сигнал на лінійний вхід передавача. КК модемом DD2 ініціює цей режим, що дозволяє передавачу працювати для подачі та вимірювання сигналу. Цей сигнал генерується DD2 та моделює стандартний сигнал,

необхідний для перевірки та коригування параметрів передавача. Сигнал «0» поступає на порт PC0 DD2 після натискання на кнопку S2.

Функцій КЗД полягають у забезпеченні взаємодії з блоками ТС, ТК, ТВ та збору даних з інших цифрових пристроїв які встановлені на ВВП. Зокрема він забезпечує:

- прийом сигналів від обладнання ДПУ;
- формування і передача даних на АЗ ВВП та відповідей на команди управління;
- розподіл прийнятих даних між КК ТК, ТС, ТВ і керування обміном даними між блоками;
- архівування даних щодо параметрів роботи ВВП з встановленим часових міток, наприклад аварійні стани ТС, ТВ;
- отримання даних з електронних засобів обліку електроенергії та інших цифрових пристроїв, які встановлені на ТО, відповідно до протоколів обміну даними, що підтримуються для кожного із пристроїв.

В таблиці 3.3 наведено склад КЗД.

Таблиця 3.3 - Компоненти КЗД

Назва	Роз'єми
контролер керування	DD1, DD2, Z1, Z2, R1 - R6, R85 - R91, C1 - C20, X1 - X3, X8, X11, X12, VT1 - VT3
енергонезалежна пам'ять (ПЗП)	DD6 - DD9, C36 - C39
блок встановлення режимів роботи	DD4, DD5, S1 - S3, R7 - R30, R51 - R55, C23, C24
драйвер інтерфейсів	DA2, DA3, DD3, DD10 - DD12, R31 - R50, R56 - R67, R68, R77 - R81, C21, C22, C25 - C35, C40÷C43, C47 - C55, S4, X6 - X10
блок індикації	DD13, R69÷ R76, C45, H1÷ H5
блок живлення	DA1, R82÷R84, C44, C46, C56, C57, L1

Вибір режиму роботи КЗД реалізується за допомогою ПЗ через роз'єм X1 DD2 з підключенням програматора. Встановлення кількості блоків для ТВ, ТС та контролю лічильників наведені в додатку В.

Режими роботи КЗД встановлюються з використанням перемикачів S1-S4 відповідно до таблиць наведених в додатку Г.

Проектована КС забезпечує моніторинг і управління технологічними процесами ВВП. ЛЗ передаються дані через ММ до КЗД через шину RS232. КЗД обробляє отриману інформацію та передає її до контролерів ТУ, ТС, ТВ та контролера лічильників (КЛ) по шині RS485 ВО. Від них по шині RS485 надходить інформація-відповідь, яка обробляється і формує кодограму для передачі назад через ММ до ДПУ.

БЗПД отримує дані про точний час через шину RS485 від блоку СГ, синхронізованого з GPS. У постійній пам'яті (ПЗП) формується архів із фіксацією міток часу звернень до КЗД.

У режимі КЛ система збирає дані з електронних пристроїв обліку, пристроїв релейного захисту та автоматики через RS485 ЗО. Отримана інформація формується в пакети та передається до БЗПД для подальшої передачі на ДПУ.

У черговому режимі БЗПД кожні 2 секунди опитує блоки ТВ через шину I2C та записує дані у пам'ять (DD6-DD9) з мітками часу. Якщо нові дані відрізняються від попередніх більш ніж на 10%, вони зберігаються в ПЗП. В іншому випадку дані ігноруються, щоб уникнути дублювання. При перевищенні допустимих параметрів або зміні стану сигналів ТС, система отримує сигнал передаварійного стану. Мікропроцесор DD2 формує код опитування контролерів БТС-24 і БТВ-16 через RS485, аналізує відповіді, фіксує характер стану і записує його в ПЗП з міткою часу.

Вузел індикації сигналізує про передачу та прийом даних через TxD і RxD обох інтерфейсів, роботу мікропроцесора та про справність контролерів ТС, ТК, ТВ, КЛ.

Взаємодія з зовнішніми пристроями, такими як лічильники чи пристрої

захисту, здійснюється за допомогою їх протоколів обміну даними.

Блок живлення включає стабілізатор напруги DA1. На вхід якого подається 12В постійної напруги, а на виході формується 3,3В.

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано КС ТУ, що забезпечує збір, обробку та передачу інформації з різних пристроїв ВВП до ДПУ через радіоканал. Система здійснює моніторинг в режимі РЧ, реагує на нештатні ситуації, фіксує зміни параметрів із високою точністю та автоматизує процес управління енергопостачанням.

Під час виконання роботи проведено класифікацію електричних підстанцій за типами, призначенням та їх технічними характеристиками, що дозволило здійснити вибір оптимальних підходів до автоматизації. Проаналізовано ВВП як об'єкта автоматизації, зокрема основного обладнання підстанцій, такого як трансформатори, вимикачі, роз'єднувачі тощо. Визначено основні параметри, контроль яких дозволяє здійснювати моніторинг і управління роботою підстанцій. Проведений аналіз дозволяє здійснити комплексний підхід до автоматизації підсанції.

Досліджено принципи побудови КС ТУ, зокрема структуру і компоненти систем ТМ, що стало основою для розробки ефективної системи ТУ. Проведений аналіз застосування таких систем в електромережах підтвердив їх здатність підвищити стабільність і ефективність роботи енергосистем.

Досліджено архітектуру та функціональні особливості систем ТУ ВВП для оптимізації управління підстанціями та забезпечення їх безпечної експлуатації. Сформульовано вимоги до проектованої системи, які враховують особливості ТО та дозволяють забезпечити надійну роботу.

Реаліовано систему ТУ ВВП. Обґрунтовано вибір апаратної частини системи, включаючи мікропроцесори, контролери, інтерфейсні модулі, що забезпечить надійне виконання функцій збору, обробки та передачі даних. Розроблено структурну схему системи автоматизації та описано алгоритм її функціонування в різних режимах роботи. Розроблено БЗПД, який інтегрує цифрові пристрої, для забезпечення надійного обміну даними між

елементами КС. БЗПД забезпечує підвищення ефективності передачі даних до ДПУ для моніторингу та управління.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Introduction to Electrical substation. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://automationforum.co/introduction-to-electrical-substation/>
2. Електрична частина станцій і підстанцій: Навч. посібник / А.О.Омельчук. - К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2017. - 479 с.
3. Види трансформаторних підстанцій. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.maksvel.com.ua/index.php/statti/72-vydy-transformatornykh-pidstantsii>
4. Трансформаторна підстанція - що це таке, для чого вона потрібна і які бувають види? [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://nezlamni.city/articles/322969/transformatorna-pidstanciya-scho-ce-take-dlya-chogo-vona-potribna-i-yaki-buvayut-vidi>
5. Огляд обладнання для систем електропостачання [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://denzadnem.com.ua/blogy/korysni-porady/193095>
5. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко/КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт). – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.
6. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / [Орлович А.Ю., Плєшков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В.]; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
7. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів : підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с.
8. Solid State Power Substation. Technology Roadmap. [Електронний

ресурс].- Режим доступу:
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/06/f75/2020%20Solid%20State%20Power%20Substation%20Technology%20Roadmap.pdf>

9. Передача електроенергії від генерації до розетки. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://izmail-rada.od.gov.ua/peredacha-elektroenergiyi-vid-generacziyi-do-rozetky/>

10. What is an electrical substation? [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://sensing.matsushima-m-tech.com/en/knowledge/11>

11. High Voltage Transmission Line System/ [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.jrw.co.th/category/services/turnkey-project/electrical-power-system/>

12. The transmission and distribution system basic and tutorials. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://electricalengineeringdesigns.blogspot.com/2012/05/transmission-and-distribution-system.html>

13. Циганов О.М. Основи електропостачання / Циганов О.М., Мардзявко В.А., Руденко А.Ю. // Миколаївський національний аграрний університет.- 2023. - 230с.

14. Fan, Fei & See, K.Y.. (2021). Simulation Model for Evaluation of IEMI Threat on Electrical Substation. 1-4. 10.1109/APREMC49932.2021.9596810.

15. Електропостачання промислових підприємств. Частина 2 : конспект лекцій для студентів напрямку 6.050701 – електротехніка і електротехнології, 6.050702 - електромеханіка / уклад. : Є. Д. Хмельницький, О. О. Крупник. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. 126 с.

16. Електричні мережі та системи. Режимми роботи розімкнених мереж : навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців напрямку підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” / уклад. В. В. Кирик. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 130 с.

17. Four Key Upgrades for High Voltage Substation Maintenance. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://nexusegroup.com/news/four-key->

upgrades-for-high-voltage-substation-maintenance

18. Main Components of a Distribution Substation. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.critterguard.org/blogs/articles/7-main-components-of-a-distribution-substation>

19. Електропостачання: підручник / П.О. Васи́лега. –Суми : Сумський державний університет, 2019. –521с.

20. Electrical Substation Components – With Examples. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://electricaltech.in/electrical-substation-components-with-examples/>

21. Єремєєв І.С. Автоматизовані системи управління технологічними процесами / І.С. Єремєєв, В.Б. Кисельов.- Олді+.- 2022.- 324с.

22. Плєшков П.Г. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / П.Г. Плєшков, С.В. Серебрєнніков, К.Г. Петрова; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. тех. ун-т. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 163 с.

23. Телемеханіка. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://energosys.com.ua/services/dlya-predpriyatiy/telemekhanika/>

24. Автоматизація, диспетчеризація та телемеханіка. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://msks.com.ua/ua/services/avtomatizatsiya-dispetcherizatsiya-ta-telemekhanika/>

25. SCADA and Its Application in Electrical Power Systems. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.allumiax.com/blog/scada-and-its-application-in-electrical-power-systems>

26. SICAM Substation Automation. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:df58aad5-aa55-4293-a4a7-ceedc5b530/Substation-Automation-Catalog.pdf>

27. EcoStruxure Power SCADA Operation 8.2. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.se.com/th/en/product-range/63067-ecostruxure-power-scada-operation-8-2/#overview>

28. iFIX from GE Digital. [Електронний ресурс].- Режим доступу:

<https://www.catapultsoftware.com/products/ge-ifix.html>

29. High Voltage Substation RTUs and SCADA. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.igrid-td.com/project/high-voltage-substation-rtu-middle-east/>

30. High-voltage substation digitalization. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.bba.ca/projects/high-voltage-substation-digitalization>

31. Electrical Substation Installation and Energy Distribution. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.ofasenerji.com/en/electrical-substation-installation-and-energy-distribution/>

32. Next-Generation Substation Technology: Centralized Protection and Control. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://araium.com/articles/next-generation-substation-technology-centralized-protection-and-control/>

33. Стандарт IEC 60870-5-101 . [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62141