

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розроблення автоматизованого обладнання для дистанційного керування контрольованими пунктами об'єктів електроенергетики**

Виконав: студент 4 курсу, групи КАз-41

спеціальності 151

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Караба О. С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Савків В. Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Шовкун О. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Савків В. Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Оробчук Б. Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль, 2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В. Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«15» квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Карабі Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розроблення автоматизованого обладнання для дистанційного керування контрольованими пунктами об'єктів електроенергетики

Керівник роботи: Савків Володимир Богданович, к.т.н., доц. каф. АВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» квітня 2025 року № 4/7-310

2. Термін подання студентом завершеної роботи: червень 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічна документація на складові елементи системи телемеханіки, параметри споживачів електричної енергії, технічні характеристики наявного обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналітична частина

2. Проектна частина

3. Спеціальна частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Вимоги до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

2. Структурні схеми варіантів побудови каналів зв'язку

3. Структурні схеми керування обладнанням КПП

4. Схема з'єднання блоків шафи телемеханіки

5. Структурна схема блоку модема манчестер код БМ-МК

6. Функціональні схеми блоків телемеханіки

7. Конструктивне виконання блоків телемеханіки

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2025	
2	Аналітична частина	28.02.2025	
3	Проектна частина	31.03.2025	
4	Спеціальна частина	30.04.2025	
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	01.06.2025	
6	Оформлення додатків	10.06.2025	
7	Оформлення графічної частини	15.06.2025	
8	Захист кваліфікаційної роботи	22.06.2025	

Студент

(підпис)

Караба О. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Савків В. Б.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку автоматизованого обладнання для дистанційного керування контрольованими пунктами об'єктів електроенергетики.

В роботі розглянуто принципи керування обладнанням районних електричних мереж та вимоги до проектування обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції. Було розроблено структуру обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції, схему з'єднання блоків телемеханіки, виконано дослідження радіоканального обладнання телемеханіки контрольованих пунктів, розроблено проєкт реалізації процесу телекерування, процесу теле-вимірювання та процесу телесигналізації.

У спеціальній частині розглянуто технічні вимоги до стандартизації та використання протоколів передачі даних та вимоги до використання протоколів передачі даних між блоками обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції. Також виконано вибір каналу передачі даних, проведено дослідження рівнів стандарту ІЕС 60870-5-101/104 та розроблено програма мікроконтролера блоку телесигналізації.

Розглянуті питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, які висвітленні в четвертому розділі роботи.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Аналіз стану ринку обладнання телемеханіки	7
1.2 Основні принципи побудови систем енергетики	8
1.3 Вимоги до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції	8
1.4 Технічні вимоги до стандартизації та використання протоколів передачі даних	10
1.5 Вимоги до використання протоколів передачі даних між блоками обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції	11
1.6 Висновок розділу та постановка задачі на проектування	12
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	13
2.1 Характеристика виробу та його призначення	13
2.2 Принципи керування обладнанням районних електричних мереж	14
2.3 Вимоги до проектування обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції	17
2.4 Структура обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції	20
2.5 Розробка схеми з'єднання блоків телемеханіки	25
2.6 Радіоканальне обладнання телемеханіки КП	26
2.7 Реалізація процесу телекерування	46
2.8 Реалізація процесу керування телевимірами	50
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	53
3.1 Вибір каналу передачі даних	53
3.2 Дослідження рівнів стандарту ІЕС 60870-5-101/104	54
3.3 Передача інформації згідно вимог протоколу FT1.2	56
3.4 Програма мікроконтролера блоку телесигналізації	58
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	62
4.1 Основні задачі в галузі охорони праці	62
4.2 Розрахунок пристрою блискавкозахисту підстанції	64
4.3 Розрахунок заземлюючих пристроїв	65
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70
ДОДАТКИ	71

ВСТУП

Системи електричної генерації та електропостачання носять вирішальний фактор в розвитку різних галузей народного господарства. Особливість продукту електроенергії полягає в тому, що електроенергію не можливо зберігати на складах, скільки електроенергії згенеровано - стільки її необхідно спожити, тому дуже важливу роль відіграє система розподілу електроенергії [1].

Основними елементами системи розподілу електроенергії являються мережа ліній електропередачі (ЛЕП) та трансформаторні підстанції (КП - контрольовані пункти). Трансформаторні підстанції відіграють вирішальну роль в розподілу електроенергії, так як вони через лінії електропередачі безпосередньо взаємодіють зі споживачами електроенергії, тому дуже важливу роль відіграє система керування трансформаторними підстанціями [2].

За керування трансформаторними підстанціями відповідає система телемеханіки. Враховуючи те, що трансформаторні підстанції рознесені на великих територіях та на них відсутній обслуговуючий персонал, їх керування повинно бути дистанційним. Керування трансформаторними підстанціями відбувається з диспетчерського пункту керування (ПКД). До складу обладнання диспетчерського пункту входять [3]:

- АРМ диспетчера на базі ПЕОМ;
- програмне забезпечення SCADA системи;
- обладнання каналів зв'язку для роботи з обладнанням трансформаторних підстанцій та обладнанням верхнього рівня керування.

Використовуючи вказане обладнання диспетчер диспетчерського пункту керування має змогу контролювати роботу трансформаторних підстанцій, які об'єднані системою телемеханіки, та виконувати функції керування режимами роботи вказаних підстанцій.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану ринку обладнання телемеханіки

В даний час на ринку України присутня велика кількість як вітчизняних так і закордонних фірм по виробництву засобів автоматики. Особливо необхідно відмітити дві фірми ABB (Hitachi) та SIMENS які комплексно поставляють обладнання для телемеханізації об'єктів енергетики.

Обладнання для телемеханізації трансформаторних підстанцій фірми ABB (Hitachi) широко використовується енергетичними компаніями України для телемеханізації своїх об'єктів енергетики. Тому нове обладнання телемеханіки яке встановлюється на трансформаторних підстанціях повинно забезпечувати сумісну роботу з обладнанням телемеханіки фірми ABB або інших фірм обладнання яких присутнє на підстанціях [4].

Обладнання телемеханіки фірм ABB (Hitachi) та SIMENS дуже широко функціональне тому і дороге коштує, використання його оправдано для великих трансформаторних підстанціях з великим об'ємом даних, які циркулюють в системі дистанційного керування АСДК.

Для малих трансформаторних підстанціях з невеликою кількістю ліній електропередачі (7÷12) та при не великих об'ємах даних, якими обмінюється обладнання телемеханіки підстанції та обладнання диспетчерського пункту керування, доцільно використовувати обладнання з урізаними функціями, але достатніми для керування трансформаторною підстанцією. Таке обладнання коштує набагато дешевше, наприклад, контролер керування RTU540 без програмного забезпечення фірми ABB коштує 55000 грн, а аналогічні контролери керування вітчизняних фірм «Овен», «Стріла» з програмним забезпеченням коштують від 20000грн. Варто зазначити, що при великій кількості таких трансформаторних підстанцій вартість обладнання телемеханіки буде суттєво знижуватися [5].

1.2 Основні принципи побудови систем енергетики

Телемеханічні системи дистанційного керування енергетичними об'єктами призначені для забезпечення централізованого керування трансформаторними підстанціями, які територіально рознесені від центру керування.

Особливість побудови систем телемеханіки полягає в тому, що в основі своєї роботи закладена функція збору та передачі даних від об'єктів енергетики до центру керування. В загальному випадку система телемеханіки представляє собою систему передачі даних від сукупності технічних засобів, які повинні забезпечити збір і передачу даних від пристроїв телемеханіки (блоків телесигналізації, блоків телевимірів, блоків телекерування), до обладнання АРМ диспетчерського пункту керування [6].

Обладнання передачі даних забезпечує двосторонній обмін інформацією між обладнанням трансформаторних підстанцій та обладнанням диспетчерського пункту керування. В основі передачі даних між об'єктами енергетики лежить модемний зв'язок, в залежності від типу каналу зв'язку використовуються різні типи модемного зв'язку (радіо модеми, лінійні модеми, модеми для передачі даних по високовольтних лініях передачі електроенергії, оптоволоконні лінії передачі даних і т.п.).

1.3 Вимоги до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

Основний критерій який висувається до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції [6]:

- надійність роботи обладнання, це пов'язано з тим що обладнання працює в цілодобовому режимі роботи без постійної присутності обслуговуючого персоналу;
- швидкою дистанційною діагностикою пошуку причин відмови роботи обладнання та швидким відновленням його роботи;

- зручність експлуатації та ремонту обладнання, наявність достатньої індикації режимів роботи обладнання що комфорт його експлуатації.

В табл. 1.1 приведено основні технічні вимоги до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції.

Таблиця 1.1 - Основні технічні вимоги до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

№ п/п	Характеристика параметрів	Опис характеристик
1	Протокол передачі інформації (рівень зв'язку)	Протокол передачі: MODBUS, MODBUS TCP, MEK60870-5-104, MEK 60870-5-101.
2	Швидкість передачі даних	Швидкість передачі даних (ТС, ТВ та телеметрії) визначається швидкістю обміну даних в каналі зв'язку та визначається його типом. Для вузькосмугового радіоканалу – 2400 б/с
3	Передача інформації про електроенергію, що надійшла від електронних лічильників шиною RS485	Лічильники «Енергія», «Елвін», ADD, EPQS, SL7000, «Арго», «Облік», ZFD410CT. Число лічильників без обмежень і встановлюється для визначеної підстанції. Можливе використання лічильників інших типів при наявності їх протоколів обміну даними
4	Інформаційний обмін із сучасними мікропроцесорними пристроями захисту і автоматики	По стандартним протоколам які підтримують вказані пристрої (MODBUS і т.п.)
5	Супроводження інформації каналу ТС та ТВ відмітками часу	Відображається час та дата з точністю $\pm 0,5$ с,
6	Обладнання телемеханіки повинно забезпечити перетворення аналогових сигналів в двійковий код	Значення вхідного сигналу ± 5 мА. Точність перетворення виміряної величини визначається первинним давачем і повинна бути не гірше 1%

№ п/п	Характеристика параметрів	Опис характеристик
		(допускається використання інших величин вхідних сигналів, які обумовлюються проектом установки обладнання)
7	Забезпечення реєстрації подій на КП з фіксацією часу і дати для сигналів телемеханіки	Події фіксуються та зберігаються в енергонезалежній пам'яті. Сумарний об'єм пам'яті 2048 кБ
8	Формування сигналів керування виконавчими механізмами при стабільній напрузі в мережі навантаження 220 В з загальною гальванічною ізоляцією для кожного ТК вхідних кіл	Величина струму керування - 10А (допускається збільшення струму керування за рахунок використання відповідних проміжних реле керування)

1.4 Технічні вимоги до стандартизації та використання протоколів передачі даних

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції повинно відповідати вимогам діючим міжнародним стандартам та стандартами які діють на Україні. В цілому обладнання телемеханіки повинно відповідати вимогам групи стандартів ДСТУ 60870, в основу якого закладені вимоги групи стандартів МЭК 60870.

Тому обладнання телемеханіки, яке виконане згідно вказаних стандартів, буде відповідати в повній мірі сучасним вимогам міжнародних стандартів і його легко буде інтегрувати в системи обладнання провідних світових фірм [8].

Одна із головних функцій обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції - це обмін даними з обладнанням диспетчерського пункту керування. Тому для забезпечення роботи обладнання телемеханіки з різними системами SCADA необхідно, щоб вказане обладнання в частині передачі даних відповідало вимогам стандарту МЭК 60870-5-101 та МЭК 60870-5-104 [9].

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції, яке виконано згідно цих стандартів, в повній мірі може бути інтегроване в будь яку систему SCADA,

що відповідає вказаним стандартам, наприклад SCADA фірми ABB “MICRO SCADA” та SCADA інших фірм.

Стандарт IEC 60870-5 визначає базовий протокол передачі повідомлень для віддаленого контролю за обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції зі сторони обладнанням диспетчерського пункту керування, який базується на використанні постійного з'єднання передачі даних між вказаним обладнанням.

Протокол передачі даних згідно стандарту MEK 60870-5-101 найкраще підходить для використання передачі даних по сімлексних вузькосмугових радіоканалах зв'язку. Це обумовлено тим, що передача даних згідно протоколу передачі MEK 60870-5-104, на відміну від протоколу передачі MEK 60870-5-101, вимагає швидкості передачі даних в межах від 40 кбіт на секунду, а передача даних згідно протоколу передачі MEK 60870-5-101 вимагає швидкості передачі даних в межах від 1200 біт на секунду, що відповідає вимогам передачі даних по вузькосмугових радіоканалах зв'язку [10].

1.5 Вимоги до використання протоколів передачі даних між блоками обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

Обладнання трансформаторної підстанції включає в себе різноманітне обладнання для забезпечення його функціонування (пристрої виміру параметрів напруги, струму, потужності, пристрої обліку електроенергії, пристрої керування вакуум-ними або масляними вимикачами та ін.) [2].

Як правило обладнання трансформаторної підстанції має цифровий інформаційний вихід. Видача інформації з обладнання трансформаторної підстанції реалізована в протоколі MODBUS, тому обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції повинно забезпечувати взаємодію з вказаним обладнанням при вчитуванні з них даних для подальшої передачі по каналах зв'язку на обладнання диспетчерського пункту керування [10]. Крім того, обладнання телемеханіки повинно забезпечувати взаємодію з будь якими пристроєм з цифровим виводом інформації за наявності протоколу обміну даних з цими пристроями.

1.6 Висновок розділу та формування завдання на проєктування

В даній кваліфікаційній роботі потрібно спроектувати схему телемеханізації для невеликих трансформаторних підстанцій (сільських районних електромереж) та підібрати необхідне обладнання телемеханіки. Крім того, необхідно адаптувати стандартне програмне забезпечення для потреб обладнання телемеханіки.

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика виробу та його призначення

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції являється складовою частиною автоматизованої системи дистанційного керування (АСДК) об'єктів електроенергетики. Система АСДК призначена для керування та контролю за роботою трансформаторних підстанцій. Обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій забезпечують [12]:

а) постійний контроль за сигналами телесигналізації (ТС) які вказують на стан «включено/відключено» високовольтних вимикачів, які забезпечують підключення або відключення високовольтних ліній електропередачі до мережі електропостачання на трансформаторних підстанціях;

б) постійний контроль за сигналами телевимірювання, які вказують на величину напруги в високовольтних лініях електропередачі, за струмом на високовольтних лініях електропередачі та іншими параметрами роботи трансформаторних підстанцій;

в) постійний контроль за роботою обладнання релейного захисту на трансформаторних підстанціях;

г) постійний контроль за роботою обладнання відеонагляду та охоронної сигналізації;

д) постійний контроль за параметрами, які вказують на якість електроенергії шляхом отримання інформації з приладів контролю якості електроенергії;

г) постійний контроль за сигналами аварійної сигналізації, які вказують на перевищення напруги в високовольтних лініях електропередачі, за перевищенням струму на високовольтних лініях електропередачі, перевищенням споживання електроенергії на високовольтних лініях електропередачі, за сигналами, що вказують на коротке замикання високовольтних ліній електропередачі на землю або між собою;

д) взаємодію з цифровими пристроями керування та вимірювання, які входять до складу обладнання трансформаторної підстанції.

Згідно приведених вище вимог обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій призначено для контролю, керування та інформаційним обміном з обладнанням, що відповідає за роботу трансформаторних підстанцій районних електричних мереж.

2.2 Принципи керування обладнанням районних електричних мереж

Базою роботи автоматизованої системи віддаленого управління об'єктами енергетики, складовою частиною якої являється обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій, покладено стандарт МЕК 60870-5-101 [9].

Згідно вимог стандарту ІЕС 60870-5-101 система працює за принципом *«ведучий-ведений»*. У вигляді *«ведучого»* приймається обладнання пункту диспетчера, а в вигляді *«веденого»* - устаткування телемеханіки трансформаторних підстанцій. Відповідно до такого принципу роботи, обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій та обладнання пункту керування диспетчера працює в автономному режимі роботи. Обладнання пункту керування диспетчера постійно відслідковує стан обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій. Виконавцем обміну інформації між устаткуванням диспетчерського пункту керування та обладнанням телемеханіки трансформаторних підстанцій виступає обладнання пункту керування диспетчера, яке постійно, в циклічному режимі, здійснює опитування апаратури телемеханіки трансформаторних підстанцій і отримує від них інформацію. У випадку нештатної ситуації на обладнанні телемеханіки трансформаторних підстанцій (не санкціонованої зміни стану ТС, короткого замикання на лінії електропередачі, тощо) обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій запам'ятовує отриману інформацію і при наступному режимі зв'язку надсилає її на устаткування пункту керування диспетчера, а при нормальній роботі устаткування телемеханіки трансформаторних підстанцій формує невелику кодограму про стабільність параметрів в її роботи. Всі данні, якими обмінюються обладнання пункту керування диспетчера та обладнання

телемеханіки трансформаторних підстанцій, передаються з міткою часу, синхронізованою з показами часу системного годинника GPS.

Конфігурація автоматизованої системи віддаленого керування енергетичними об'єктами визначається технічним проектом на розробку системи і може включати в себе різні типи підсистем. На рис. 2.1 приведена структурна схема одного із варіантів побудови системи.

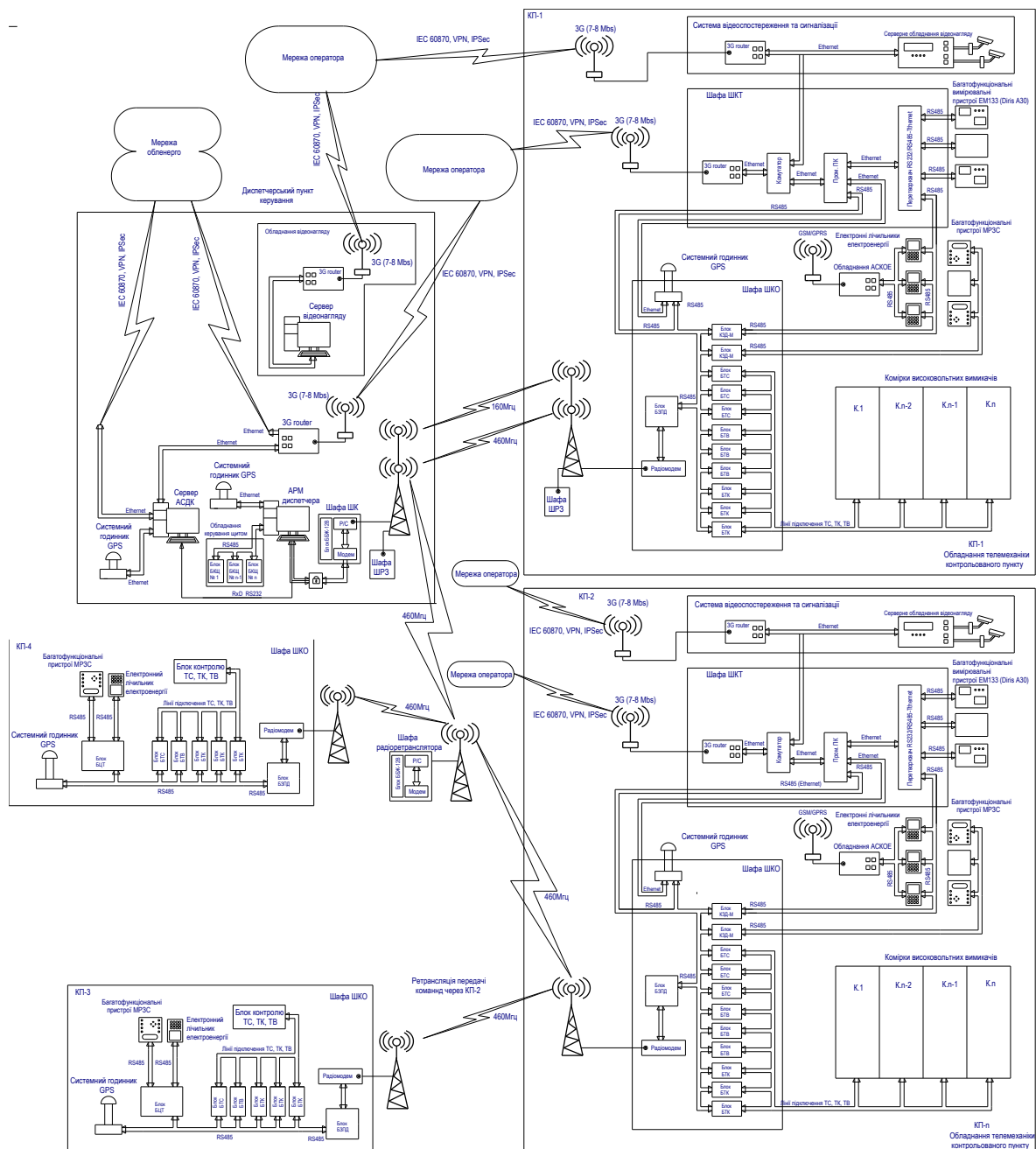


Рисунок 2.1 - Структура одного із варіантів побудови системи

Аналізуючи структурну схему побудови системи АСДК можна прийти до висновку, що система АСДК складається з трьох основних компонентів:

- 1) керуюче обладнання - обладнання диспетчерського пункту керування;
- 2) кероване обладнання - обладнання телемеханіки трансформаторних підстанцій;
- 3) канали зв'язку.

Особливу увагу треба звернути на вибір каналу зв'язку системи, тому що від надійності зв'язку залежить надійність роботи системи АСДК в цілому. Для забезпечення функціонування системи віддаленого керування АСДК використовуються різні сертифіковані канали зв'язку. В якості каналів зв'язку для керування і для телеметрії використовується сертифіковане обладнання каналів зв'язку [13]:

- а) VPN-мережі операторів зв'язку;
- б) радіорелейні канали зв'язку;
- в) оптоволоконні канали зв'язку;
- г) вузько смугові канали радіо зв'язку;
- д) широкосмугові канали радіо зв'язку;
- є) інші типи обладнання каналів зв'язку які забезпечують високу швидкість передачі даних.

На рис. 2.2 приведена структурна схема варіантів побудови каналів зв'язку. В даному випадку показано використання трьох типів каналу зв'язку – вузькосмуговий канал радіозв'язку, оптоволоконний канал зв'язку, VPN-мережі операторів зв'язку.

Комбінація використання каналів зв'язку визначається складом комплексу, його конфігурацією та повинна відповідати вимогам проекту на установку обладнання. Слід відмітити, що VPN-мережі операторів зв'язку доцільно використовувати тільки для потреб телеметрії, а для потреб керування телемеханікою трансформаторної підстанції необхідно використовувати високо захищені канали зв'язку – оптоволоконні канали зв'язку та канали радіозв'язку.

Оптоволоконні канали зв'язку на 100% захищені від хакерських атак.

Канали радіо зв'язку, особливо вузькосмугові канали радіозв'язку, також мають високий захист від хакерських атак, оскільки радіозв'язок діє на обмеженій території районних електромереж.

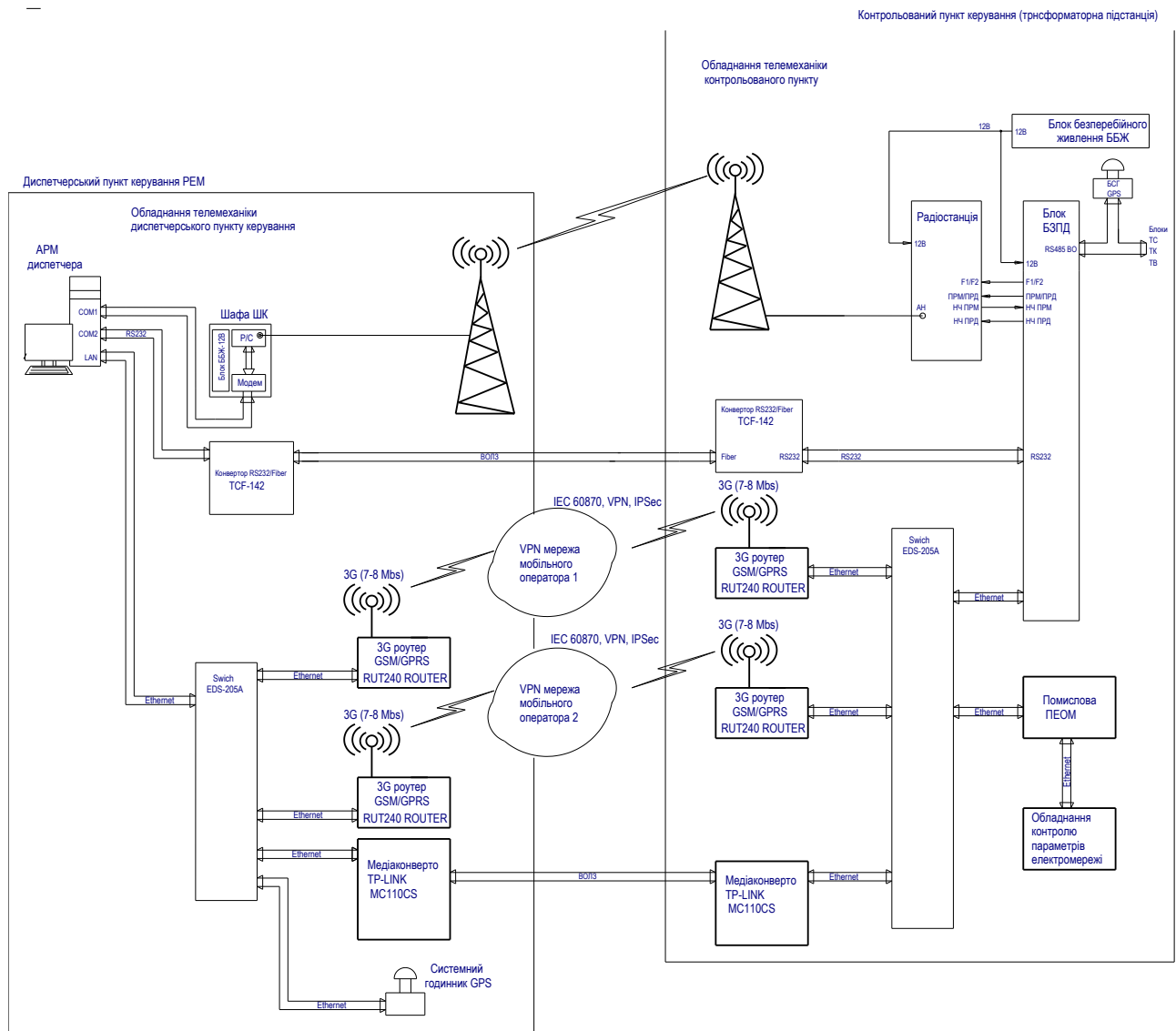


Рисунок 2.2 - Структурна схема варіанту побудови каналів зв'язку

2.3 Вимоги до проєктування обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції відіграє основну роль в роботі автоматизованої системи дистанційного керування енергетичними об'єктами, тому до нього особливі вимоги щодо надійності роботи при жорстких умовах експлуатації як кліматичних так і умов роботи при наявності потужного поля електрозавад на трансформаторній підстанції.

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції повинно відповідати вимогам, що приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

№ п/п	Характеристика параметрів	Опис характеристик
1	число сигналів телесигналізації (ТС)	24 ТС
2	число сигналів телекерування (ТК)	16 ТК
3	число сигналів телевимірів (ТВ)	16 ТВ
4	Протокол передачі інформації (рівень зв'язку)	Протокол передачі: MODBUS, MODBUS TCP, MEK 60870-5-101.
5	Швидкість передачі даних	Швидкість передачі даних (ТС, ТВ та телеметрії) визначається швидкістю обміну даних в каналі зв'язку та визначається його типом. Для вузькосмугового радіоканалу – 2400 б/с
6	Обладнання телемеханіки повинно забезпечити ретрансляцію передачі інформації по каналам радіозв'язку	Обладнання КККП повинно забезпечувати керування по одному каналу зв'язку як своїм КП, так і ретрансляцію передачу сигналів керування на інші КП які знаходяться в його зоні радіовидимості.
7	Передача даних врахування електричної енергії від електронних лічильників через шину RS485	Лічильники «Енергія», «Елвін», ADD, EPQS, SL7000, «Арго», «Облік», ZFD410CT. Число лічильників без обмежень і визначається для кожної підстанції окремо. Можливе використання лічильників інших типів при наявності їх протоколів обміну даними
8	Інформаційний обмін із сучасними мікропроцесорними пристроями захисту і автоматики	По стандартним протоколам які підтримують вказані пристрої (MODBUS і т.п.)
9	Наявність в КП можливості підключення приладів діагностики і наладки	Здійснюється при допомозі ноутбука з відповідним програмним забезпеченням.
10	Супроводження інформації каналу ТС та ТВ часовими мітками	Фіксується час та дата з точністю $\pm 0,5$ с,
11	Діагностика працездатності апаратури	Ідентифікація сигналів несправності апаратури і пересилання даних діагностики на пункт керування.
12	Обладнання телемеханіки повинно забезпечити перетворення аналогових сигналів в двійковий код	Значення вхідного сигналу ± 5 мА. Точність перетворення вимірної величини визначається первинним давачем і має бути не менше 1% (допускається використання інших величин вхідних сигналів, які обумовлюються проектом установки обладнання)
13	Обладнання телемеханіки повинно забезпечити для давачів ТС, ТВ, ТК гальванічну ізоляцію від обладнання	З використанням гальванічно розв'язаного блока живлення та спеціалізованої елементної бази.

№ п/п	Характеристика параметрів	Опис характеристик
	телемеханіки на КП	
14	Забезпечення реєстрації подій на КП з реєстрацією дати та часу для сигналів ТС, ТВ	Події реєструються та записуються в енергонезалежній пам'яті. Загальний об'єм пам'яті 2048 кБ
15	Формування сигналів керування виконавчими механізмами при номінальній напрузі в колі навантаження 220В з повною гальванічною ізоляцією для вхідних кіл кожного ТК	Величина струму керування - 10А (допускається збільшення струму керування за рахунок використання відповідних проміжних реле керування)
16	Можливість регулювання часу утримання вихідних кіл ТК у включеному стані	Дискретність 0,5 с, 1 с, 2 с, 4 с (допускається використання інших величин утримання вихідних кіл ТК у включеному стані, які обумовлюються проектом установки обладнання)
17	Умови експлуатації	Від -30 до +50 °С, 93% вологості при температурі 20 °С
18	Електроспоживання	~220В, резервна акумуляторна батарея 13,2В з підзарядкою
19	Час роботи обладнання КККП від акумулят. батареї при відключенні напруги живлення власних потреб ~220В	Не менше 8 год.
20	Можливість децентралізованого розміщення додаткових модулів вводу-виводу та керування на об'єктах КП.	Зв'язок по магістральній шині RS485 (допускається використання шин оптоволоконного каналу зв'язку або інших типів шин, які обумовлюються проектом установки обладнання).
21	Спосіб під'єднання зовнішніх кіл	Під гвинт

Вид кліматичного виконання та вплив механічних навантажень на обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції повинно відповідати стандарту ДСТУ МЕК 60870-2-2:2005 «Пристрої та системи телемеханіки. Част. 2. Умови експлуатації. Розд. 2. Умови навколишнього середовища»:

- кліматичні умови експлуатації – клас С2;
- вплив механічних навантажень - клас Вm;
- умови транспортування - клас Сt1.

Ступінь захисту згідно ДСТУ EN 60529 (DIN 40050) – IP54. Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції призначено для цілодобової роботи.

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції повинно працювати у вузькосмуговому каналі радіозв'язку. Для забезпечення роботи обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції у вузькосмуговому радіоканалі зв'язку

використовуються сертифіковані УКХ-радіостанції з кутовою модуляцією, що забезпечують роботу в режимі 1- або 2-частотного симплексу з розносом частот між каналами 12,5 кГц (25 кГц) в інтервалі частот від 148 МГц до 173 МГц та від 403 МГц до 470 МГц, класу випромінювання F3 в режимі передачі даних і радіо-телефонних переговорів, а також забезпечують швидкість 2400 біт/с (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Вимоги до каналів зв'язку телемеханіки трансформаторної підстанції

Найменування параметрів	Величина
1. Частота, МГц	148-173/403-470
2. Частотне рознесення між суміжними каналами в режимі 1- або 2-частотного симплексу, кГц	12,5/25
3. За електричними параметрами радіообладнання відповідає вимогам	ДСТУ4184:2003 для радіостанцій 2-го типу
Параметри передавача:	
4. Максимальна потужність, Вт	До 25
5. Коефіцієнт нелінійних спотворень, %, не більше	5
6. Найбільша девіація частоти, кГц, не більше	3/5
7. Відхилення частоти від номінального значення, МГц, не більше	$10 \cdot 10^{-6}$
8. Рівень напруги на модуляційному вході передавача для під'єднання маніпулятора, мВ	50 ± 20
Характеристики приймача:	
9. Чутливість при співвідношенні сиг/шум 12 дБ, не більше, мкВ	0,4
10. Коефіцієнт нелінійних спотворень, %, не більше	5
11. Вибірковість за сусіднім каналом, не менше, дБ	80
12. Рівень НЧ сигналу приймача на вході модема, В	$0,4 \div 0,7$
По передачі/прийому інформації	
13. Швидкість обміну з терміналом, бод	9600
14. Швидкість обміну по ефіру, бод	2400
15. Розмір буфера, байт	128
Інші параметри	
16. Кількість каналів зв'язку	1/2
17. З'єднання з ПЕОМ	RS232
Потужність споживання	
18. В режимі "Прийом", Вт, не більше	51
19. В режимі "Передача", Вт, не більше	80

Вказаним вимогам відповідає радіостанція NX-1800 фірми KENWOOD, тому вказаний тип радіостанції доцільно використати для комплектування обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції.

2.4 Структура обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

Структура телемеханічного устаткування трансформаторної підстанції залежить від способу його комплектації [14]:

а) централізоване розміщення обладнання керування телемеханіки трансформаторної підстанції - в окремій шафі керування (ШКО);

б) децентралізоване розміщення обладнання керування телемеханіки трансформаторної підстанції - комплектується в комірках керування вимикачами високо-вольтними ліній електропередачі.

Приклад структурної схеми централізованого об'єднання обладнання керування, в залежності від вибраних блоків для формування телемеханічного обладнання трансформаторної підстанції, наведено на рис. 2.3

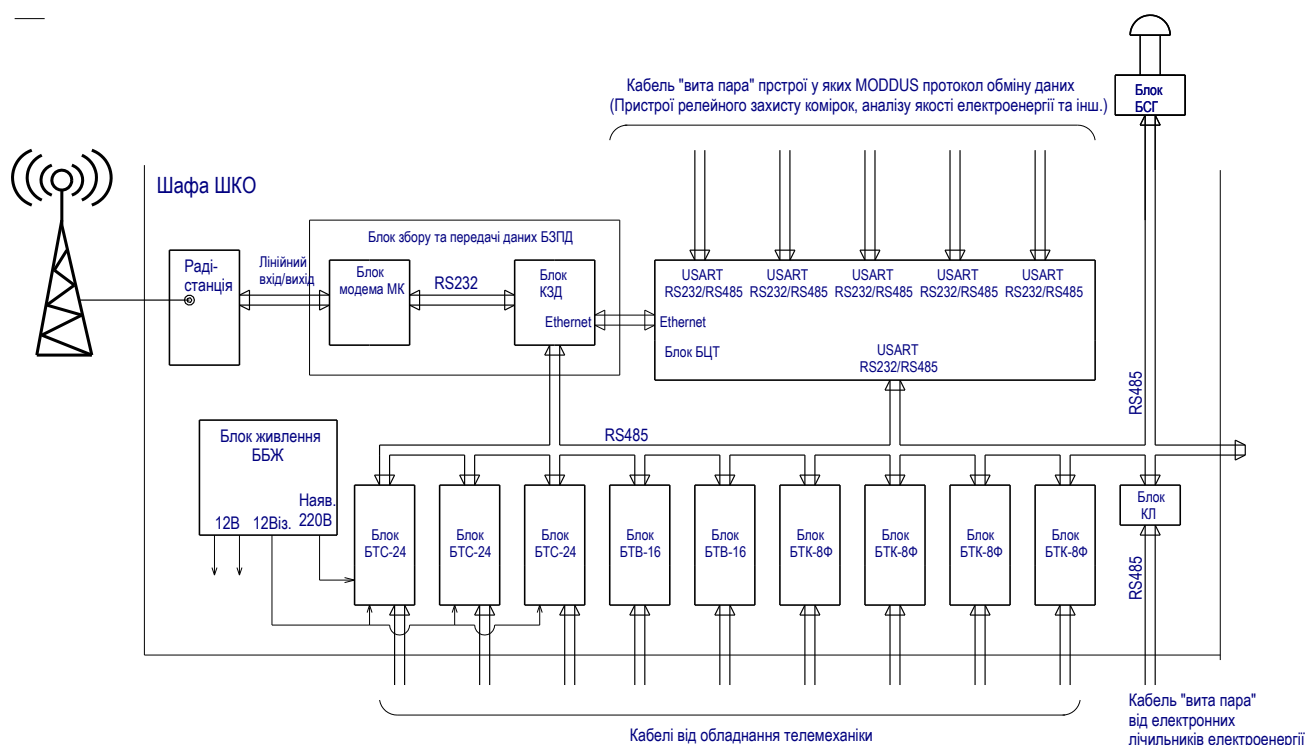


Рисунок 2.3 - Структурна схема централізованого керування обладнанням КП

Устаткування телемеханіки трансформаторної підстанції побудоване за модульним принципом. Всі блоки мають контролер керування з мікропроцесором, здійснюють свої функції автономно (контроль за станом сигналів ТС, телевиміри і т.п.) та об'єднані між собою за допомогою внутрішньої шиною RS485. Блок КЗД (контролер збору даних) здійснює керування обладнанням телемеханіки транс-

форматорної підстанції виконує і за допомогою шини RS232 під'єднаний до радіо-модему. Дані за допомогою радіоканалу зв'язку через радіомодем надходять на блок КЗД, де вони обробляються і він видає команду на вибраний блок обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції для її виконання. Після цього блок КЗД отримує відповідь від вибраного блоку, формує пакет даних і через радіомодем надсилає їх на обладнання пункту керування диспетчера РЕМ з мітками часу, які синхронізовані з показами часу системного годинника GPS та вичитуються з блоку БСГ.

В обладнанні телемеханіки трансформаторної підстанції передбачена можливість підключення пристроїв, у яких використовується MODBUS-протокол для обміну даних. Вказані пристрої підключаються до блоку БЦТ обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції *«витою парою»*. Обладнання телемеханіки КП допускає підключення пристроїв, у яких використовується інші стандартні протоколи для обміну даних. Пристрої, які підключаються до КККП та їх протоколи для обміну даних, обумовлюються проектом на встановлення обладнання. Обладнання КККП отримує живлення від ББЖ, під'єданого через АРКН до мережі 220В. Склад обладнання та його конфігурація може змінюватись та доповнюватись іншими підсистемами згідно вимог проекту на його установку [32, 33, 34].

Приклади реалізації структури децентралізованого розташування телемеханічного обладнання трансформаторної підстанції наведені на рис. 2.4 - 2.7. Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції побудоване на базі блоків керування коміркою (БКК) або пристроїв РЗА, які здійснюють функції телекерування, телесигналізації, телевимірювання та взаємний зв'язок з іншим цифровим обладнанням (пристроями РЗА, електролічильниками), які використовуються для здійснення функцій управління коміркою. Від того, яким способом виконана структура керування об'єкту, число блоків управління коміркою, залежить тип виконання внутрішньої шини обміну даними. Шина RS485 або шина Ethernet може бути використана як внутрішня шина обміну інформацією. В обладнання телемеханіки

трансформаторної підстанції передбачена можливість передачі даних телеметрії по захищених каналах передачі даних (канал GPRS IEC 60870 VPN, IPSec або ін.).

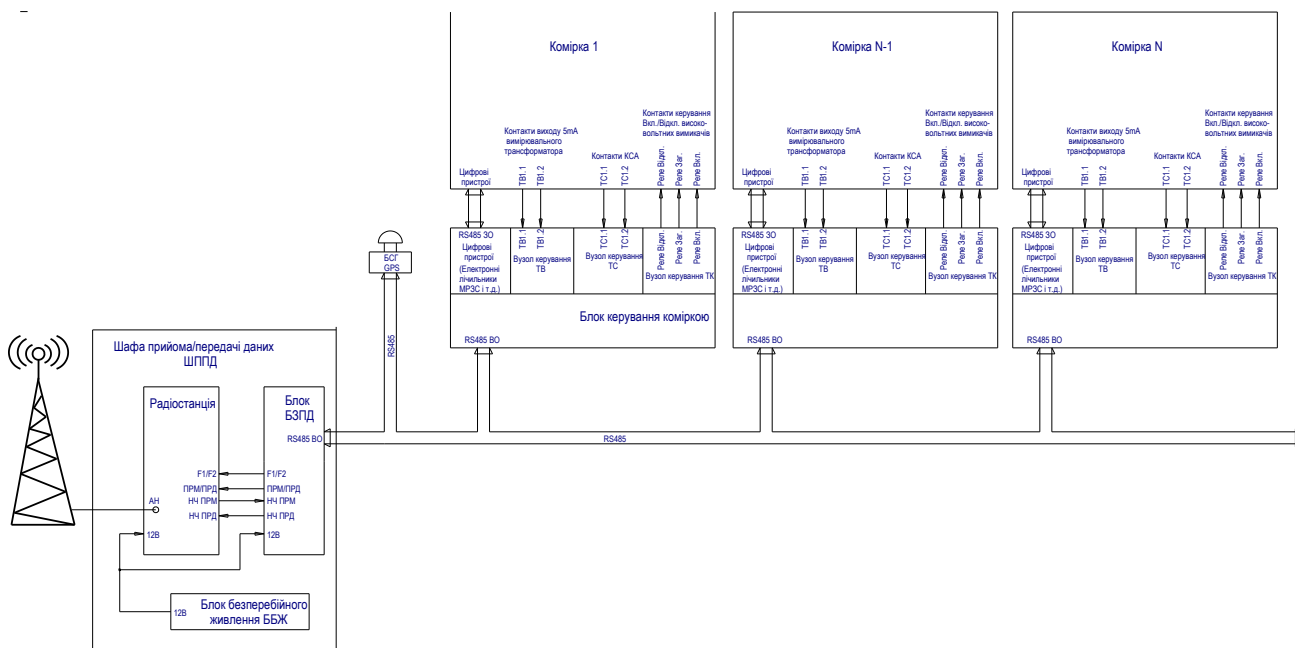
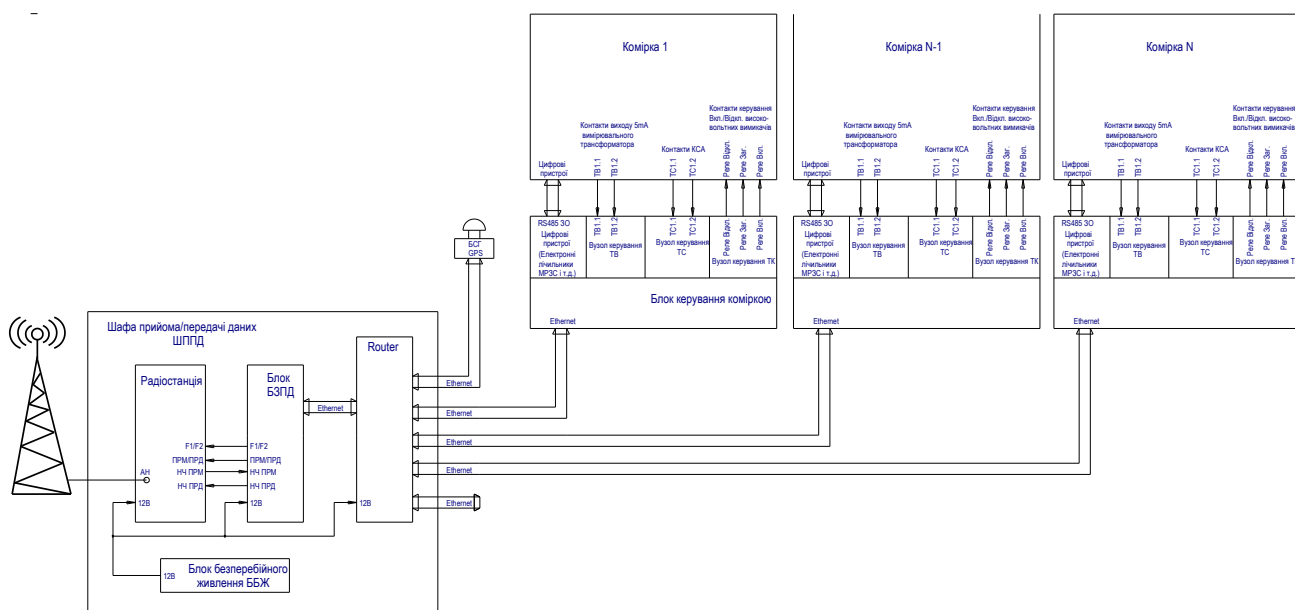


Рисунок 2.4 - Схема структурна децентралізованого керування обладнанням КП шиною RS485



2.5 - Схема структурна децентралізованого керування обладнанням КП по шині Ethernet

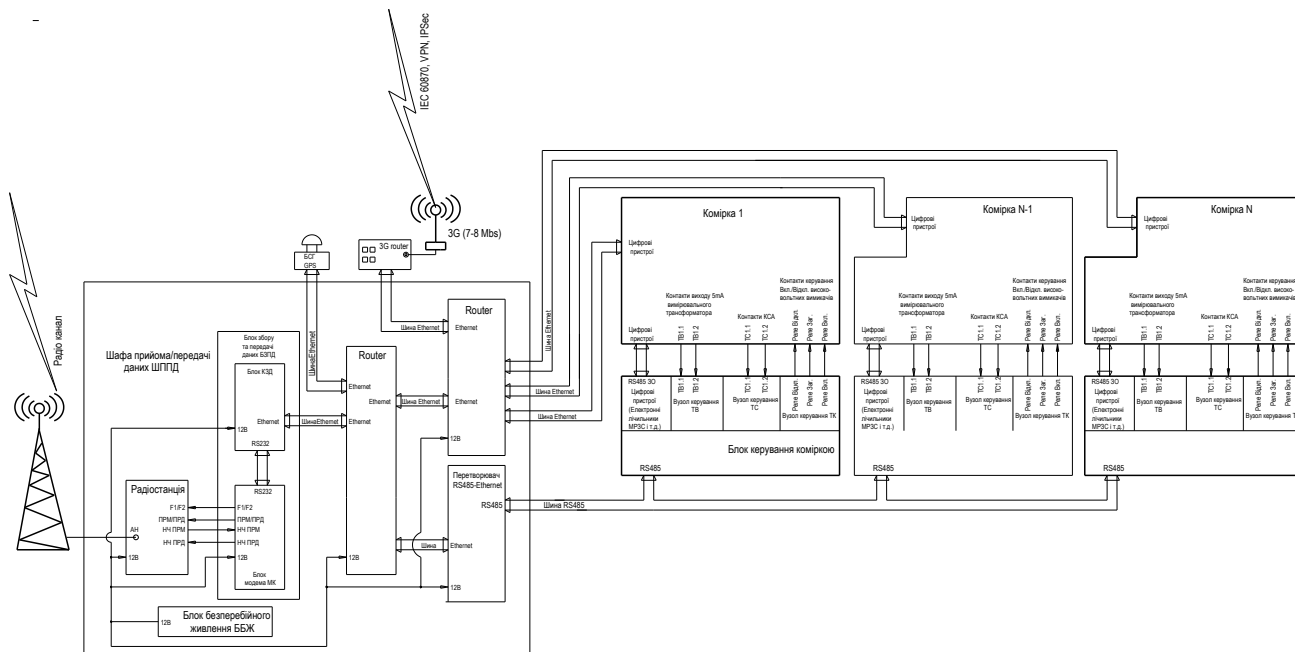


Рисунок 2.6 - Схема структурна децентралізованого керування обладнанням шиною RS485 та передачі інформації від цифрових пристроїв кімнат каналами GPRS IEC 60870 VPN, IPSec

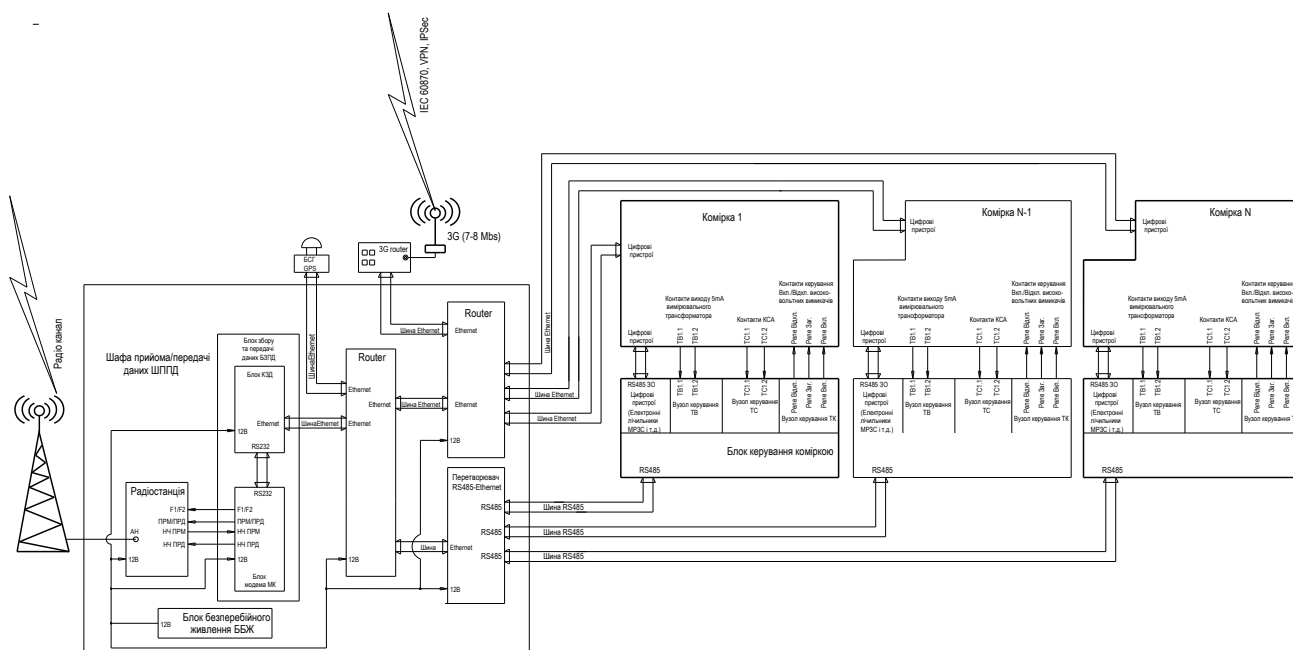


Рисунок 2.7 - Схема структурна децентралізованого керування обладнанням шиною Ethernet та передачі даних від цифрових пристроїв кімнат каналами GPRS IEC 60870 VPN, IPSec

Для реалізації проекту вибрано централізоване об'єднання обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції в одній шафі керування (ШКО). Обґрунтування вибору реалізації проекту полягає в тому, що зазвичай при в кімпр-

ках керування високовольтними вимикачами ліній електропередачі відсутнє місце для розміщення обладнання телемеханіки, тому обладнання телемеханіки розміщено в окремій шафі, а зв'язок обладнання телемеханіки з обладнанням керування високовольтними вимикачами ліній передачі виконано сигнальними кабелями. Згідно вимог ПУЕ підключення телесигналізації, телекерування, телевимірювання виконуються окремими сигнальними кабелями [15].

Щодо децентралізованого розміщення обладнання телемеханік в комірках керування високовольтними вимикачами ліній електропередачі, то воно оправдане при корінній реконструкції трансформаторної підстанції з заміною комірок керування високовольтними вимикачами на нові з вакуумними високовольтними вимикачами при цьому в них є місце для розміщення блока керування коміркою високовольтного вимикача [16].

2.5 Розробка схеми з'єднання блоків телемеханіки

Згідно завдання на проектування обладнання телемеханіки повинно мати:

- а) входи сигналів телесигналізації, число входів – 24;
- б) входи сигналів телевимірювань, число входів – 16;
- в) виходи сигналів телекерування, число виходів – 16.

В даний момент на ринку України присутня значна кількість фірм які випускають різноманітні блоки для обладнання телемеханіки. За основу вибору фірми-виробника обладнання вибрано фірму ТКБР «Стріла», м. Тернопіль [17]. На користь даного вибору вказує те, що фірма ТКБР «Стріла» присутня на ринку енергетичного обладнання більше 20 років. Обладнання телемеханіки фірма ТКБР «Стріла» встановлено на великій кількості об'єктів електроенергетики різних обленерго України (Тернопільобленерго, Кіровоградобленерго, Закарпаттяобленерго, Волиньобленерго і ін.) [35, 36, 37, 38].

За результатами аналізу структурної схеми обладнання телемеханіки (в одній шафі керування) повинно складатися з:

- а) блоків каналу радіо зв'язку (антена, радіостанція, модем);
- б) блоків системного годинника (БСГ, адаптер БСГ);

- в) блока телесигналізації, кількість блоків - 1;
- г) блока телевимірювань кількість блоків - 1;
- д) блока телекерування кількість блоків - 2;
- е) блоки та пристрої системи живлення.

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції можна розділити на чотири складові частини:

- 1) блоки радіо каналу зв'язку;
- 2) блоки керування телесигналізацією, телевимірюванням, телекеруванням та збором і керування обміном даними з обладнанням диспетчерського пункту керування;
- 3) блоки системного годинника;
- 4) блоки та пристрої системи живлення.

На рис. 2.8 приведена схема з'єднання блоків шафи телемеханіки.

2.6 Радіоканальне обладнання телемеханіки КП

До складу блоків радіо каналного обладнання зв'язку входять:

- антена;
- блок блискавкозахисту;
- радіостанція;
- блок модема.

Обладнання каналу радіозв'язку, яке виконано на базі радіостанції, повинно відповідати вимогам стандарту України ДСТУ 4184-2003 «Радіостанції з кутовою модуляцією суходільної рухомої служби. Класифікація. Загальні технічні вимоги. Методи вимірювання» та сертифіковане уповноваженими організаціями «Укр. частот нагляд». Діапазони частот, які використовуються для організації каналів радіозв'язку, виділяються регіональною службою «Укр. частот нагляд» окремо для кожного обленерго в залежності від регіону, де воно знаходиться. Згідно аналізу ринку радіостанцій, які присутні на Україні, найбільш оптимально використовувати радіостанції NX-1800 фірми KENWOOD, які дуже гарно зарекомендували себе в роботі з точки зору надійності. Для кодування даних при передачі їх по

каналу радіозв'язку через радіо-станцію найбільше підходить кодування інформації кодом «Манчестер».

Схема з'єднання обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції

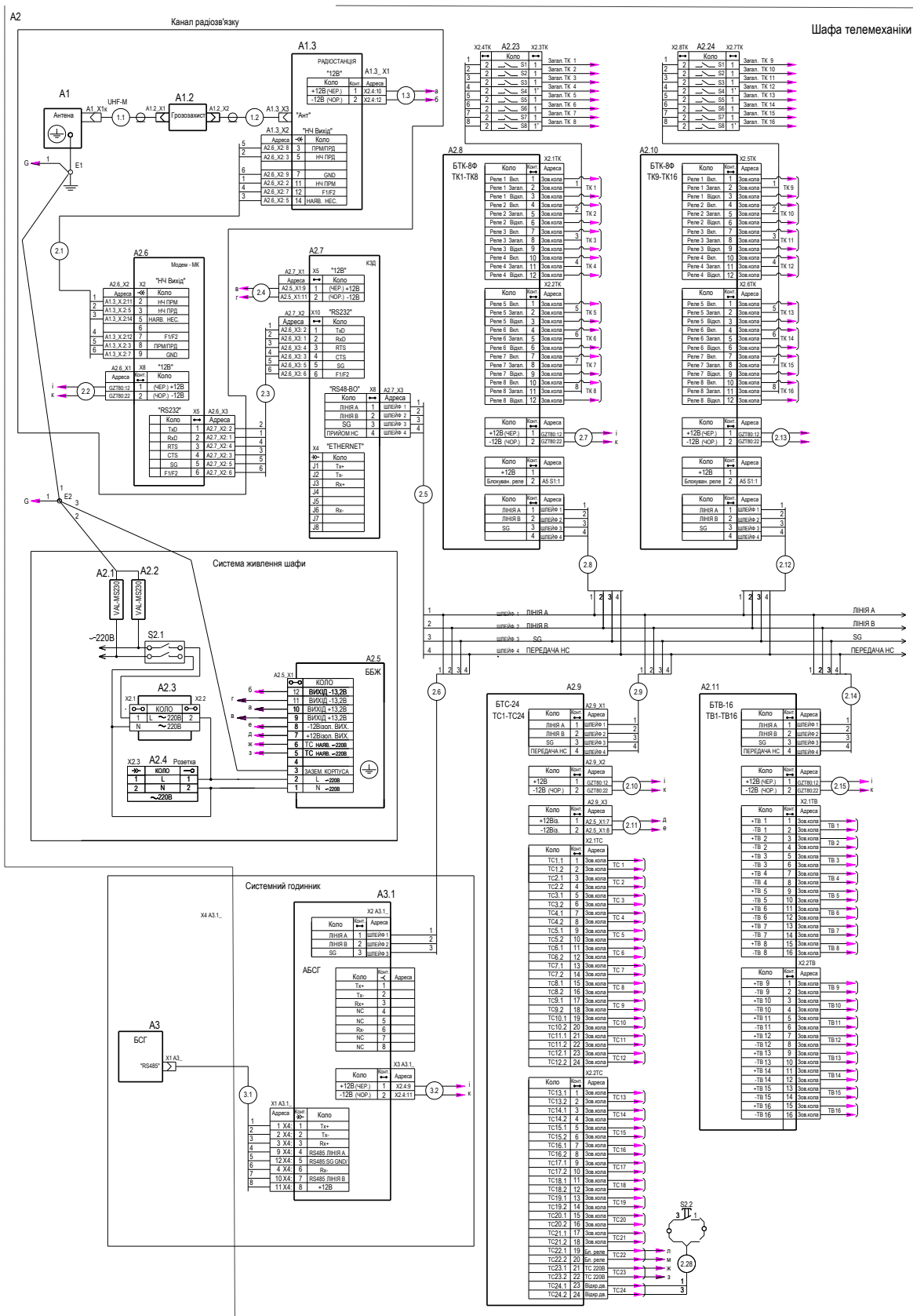


Рисунок 2.8 - Схема з'єднання блоків шафи телемеханіки

Вказаний код не має постійної складової, а значення окремого переданого біта визначають напрямком зміни логічного рівня в середині обумовленого наперед часового інтервалу [18]. Для кодування використовується поділ кожного такту на дві частини, дані кодуються в середині кожного такту. Кодування «1» відбувається перепадом сигналу від низького рівня до високого, а кодування «0» відбувається перепадом сигналу від високого рівня до низького. На початку кожного такту відбувається службовий перепад сигналу, якщо потрібно передати підряд кілька «0» або «1». Особливість кодування інформації кодом «Манчестер-2» полягає в тому, що він має здатність до самосинхронізації, що особливо важливо для передачі даних симплексним каналом зв'язку. На рис. 2.9 приведена діаграма роботи коду «Манчестер».

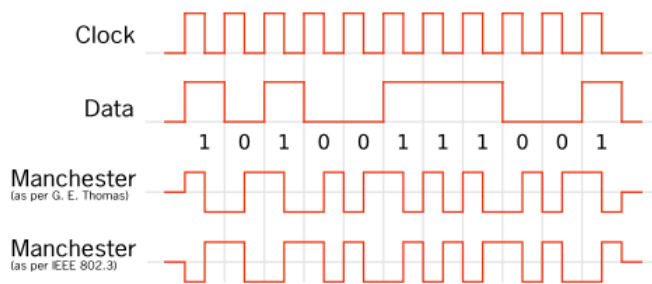


Рисунок 2.9 - Діаграма роботи коду «Манчестер»

Роботу по кодуванню даних виконує блок модема БМ-МК. Блок модема БМ-МК, який призначений для забезпечення функціонування системи АСДК «Стріла» та інших систем дистанційного керування, виконує наступні функції:

- а) формування та передача цифрової кодограми в коді Манчестер_2;
- б) приймання кодограми в коді Манчестер_2;
- в) відтворення прийнятих даних в цифровий код;
- г) ретрансляція прийнятої кодограми в коді Манчестер_2.

На рис. 2.10 приведено структурну схему блоку модема БМ-МК.

Режими роботи блоку модема БК-МК забезпечується відповідним програмним продуктом, записаним в мікропроцесор. Дані у вигляді цифрових кодограм надсилаються через інтерфейс мікросхем на схему контролера керування модемом. Схема контролера керування модемом прийняті дані перетворює в код

Манчестер_2 та пересилає її через фільтр низьких частот Гауса 8-го порядку (DA8) на лінійний вхід радіостанції. При цьому фільтр низьких частот Гауса 8-го порядку обмежує смугу пропускання сигналу до рівня 3,4 кГц із збереженням лінійної фазової характеристики в смузі пропускання.

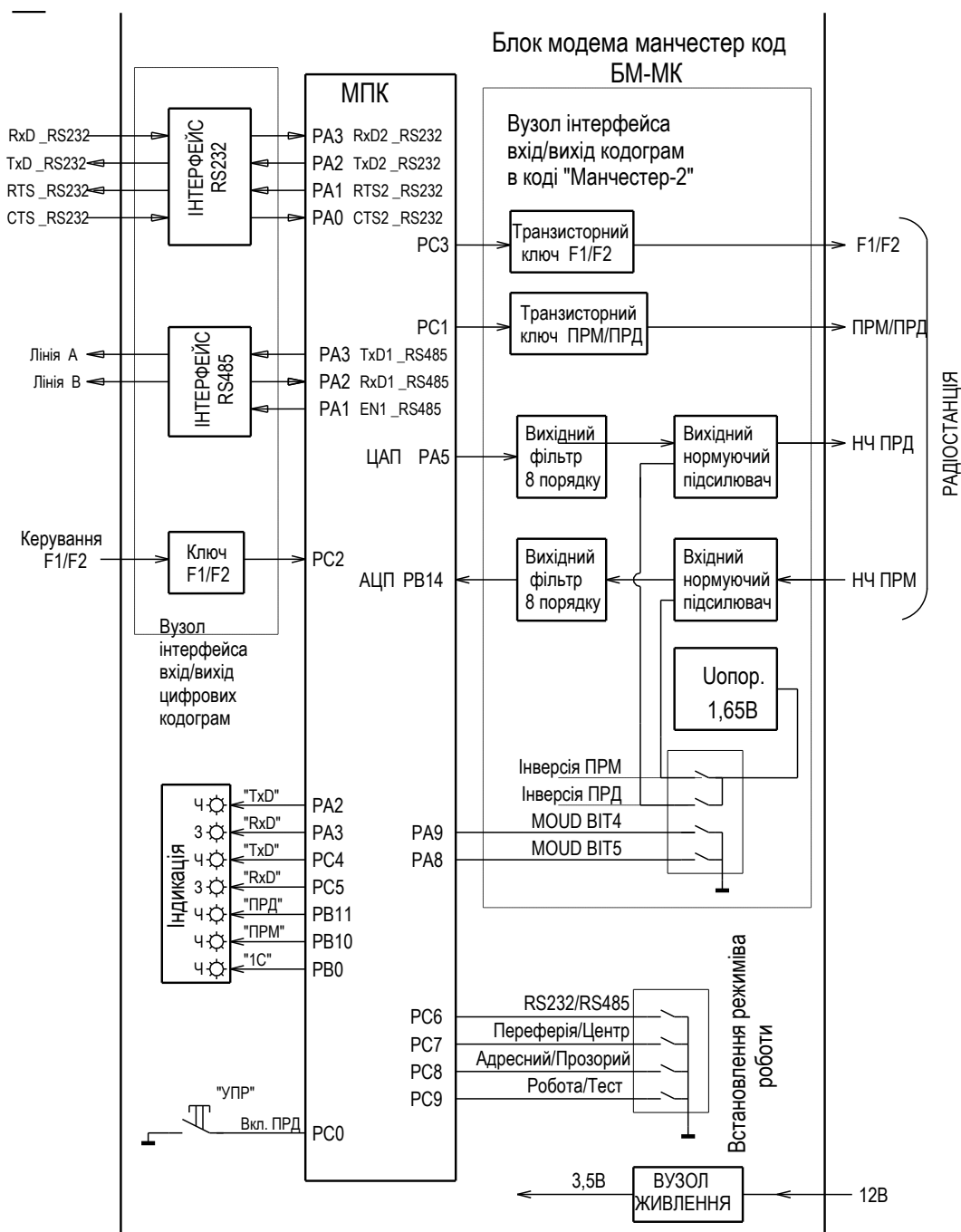


Рисунок 2.10 - Блок модема БМ_МК

Дані, які отримує радіостанція, представлені в коді Манчестер_2 у вигляді аналогового сигналу звукової частоти в смузі частот від 300 Гц до 3,5 кГц. Прийняті дані у вигляді сигналу звукової частоти поступають через фільтр ФНЧ

Гауса 8-го порядку та компаратор у вигляді бітового потоку на вхід таймера мікропроцесора, який конвертує її в цифрову кодограму [40, 41, 42, 43]. Конвертована схемою контролера керування модемом в цифровому форматі через інтерфейсні мікро-схеми передається на блок КЗД для подальшої обробки згідно програми керування системою. Керування режимами роботи радіостанції (Прийом / Передача) забезпечує контролер керування модема. На рис. 2.11, 2.12 приведені приклади виконання блоку модема БМ_МК.

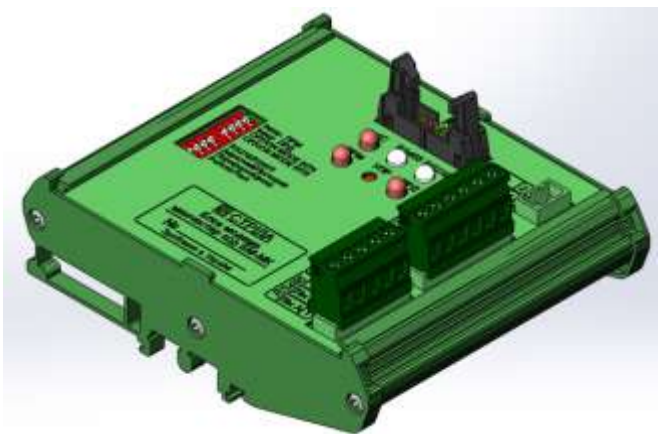
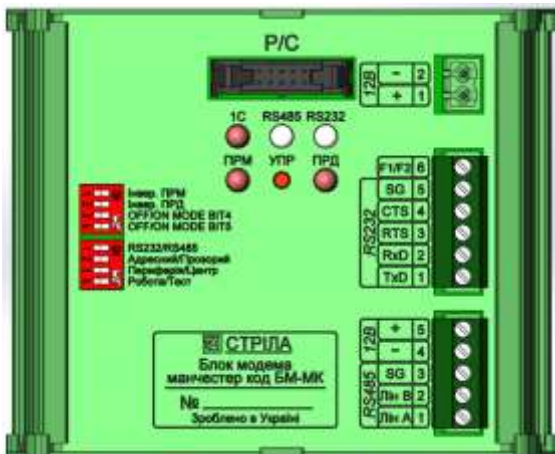


Рисунок 2.11 - Конструктивне виконання блоку модема БМ_МК



Рисунок 2.12 - Конструктивне виконання плати модема БМ_МК

Обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції повинно відповідати вимогам її довготермінової експлуатації. Це значить, що під час експлуатації обладнання телемеханіки повинно допускати модернізацію без демонтажу його обладнання (запас на модернізацію). З часом умови експлуатації обладнання змінюються, наприклад, зміна каналів зв'язку з вузькосмугового радіоканалу зв'язку на широкосмуговий радіоканал зв'язку або на волоконнооптичний канал зв'язку, розширення обладнання трансформаторної, яке підлягає керуванню, доповнення її новим обладнанням, що переводить керування трансформаторною підстанцією на новий рівень. Тому обладнання телемеханіки повинно бути гнучким щоб відповідати новим вимогам які появляються з часом [19].

Обладнання телемеханіки, яке відповідає за обміном даними з обладнанням диспетчерського пункту керування та взаємодію з обладнанням трансформаторної по виконанню функцій телекерування та отримання сигналів телевимірювання і телесигналізації, складається з наступних блоків:

- 1) КЗД - контролер збору даних;
- 2) БТК-8Ф - блок телекерування включення/відключення високовольтних ліній електропередачі, число ліній 8;
- 3) БТС-24 - блок телесигналізації, число сигналів ТС_ 24;
- 4) БТВ-16 - блок телевимірювань, число каналів виміру ТВ_ 16;

Число вказаних блоків залежить від величин трансформаторної підстанції, крім того, обладнання телемеханіки може доповнюватись іншими типами блоків (пристроїв), що розширяють функціональні процеси керування та збору інформації. Всі приведені блоки являють собою мікропроцесорні системи керування, побудовані на базі 32-х розрядних мікропроцесорів фірми ST (STM32F407, STM32F309) [44, 45, 46, 47]. Завдяки використанню мікропроцесорів появилась можливість керування процесами по одній інформаційній шині даних, а за основу прийнята інформаційна шина даних RS485. Розроблений стандарт передачі даних шиною RS485 побудований на базі диференціальної передачі даних. Згідно цього стандарту інформація передається по двопровідній лінії

«вита пара», передача даних здійснюється за допомогою диференціальних сигналів (рис. 2.13). Лінії у «витій парі» мають назву «Лінія А» та «Лінія В»

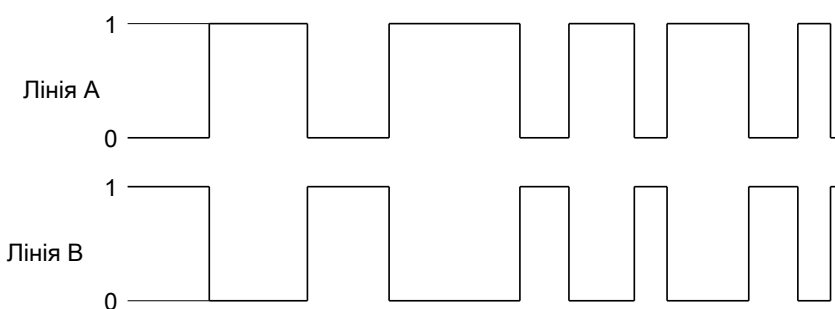


Рисунок 2.13 – Сигнали передачі даних по «витій парі»

Принцип формування сигналу «Лог. 0» та «Лог. 1» відбувається за рахунок різниці напруг між лінією А та лінією В:

- при різниці напруги між лініями А і В ($V_{аб}=V_a - V_b$) більше +200 мВ то на логічному виході прийомопередавача фіксується логічний сигнал «Лог. 1»;
- при різниці напруги між лініями А і В ($V_{аб}=V_a - V_b$) менше -200 мВ то на логічному виході прийомопередавача фіксується логічний сигнал «Лог. 0»;
- при різниці напруги між лініями А і В ($V_{аб}=V_a - V_b$) в межах від -200 мВ до +200 мВ вказує на не визначений стан.

Шина даних RS485 дозволяє підключення великої кількості блоків (до 32) але при умові що вони всі підключені послідовно, підключення зіркою виключено. Основним пристроєм, що відповідає за роботу обладнання системи телемеханіки на трансформаторній підстанції являється блок контролера збору даних - КЗД. Блок КЗД, який забезпечує функціонування системи АСДК «Стріла» та інших систем дистанційного керування, призначений для [20]:

- прийому даних від обладнання ПКД;
- формування і передавання на устаткування ПКД інформації у відповідь на команди управління;
- розподілення прийнятих даних між контролерами телекерування, телесигналізації, телевимірювання, БЦТ та керування обміном інформацією між цими контролерами;
- архівування даних про режим роботи КККП (аварійні стани ТС, ТВ) із збереженням міток часу згідно GPS сервера точного часу;

На рисунку 2.15 приведено функціональну схему підключення блоку КЗД до обладнання каналу зв'язку (до модема БМ-МК).

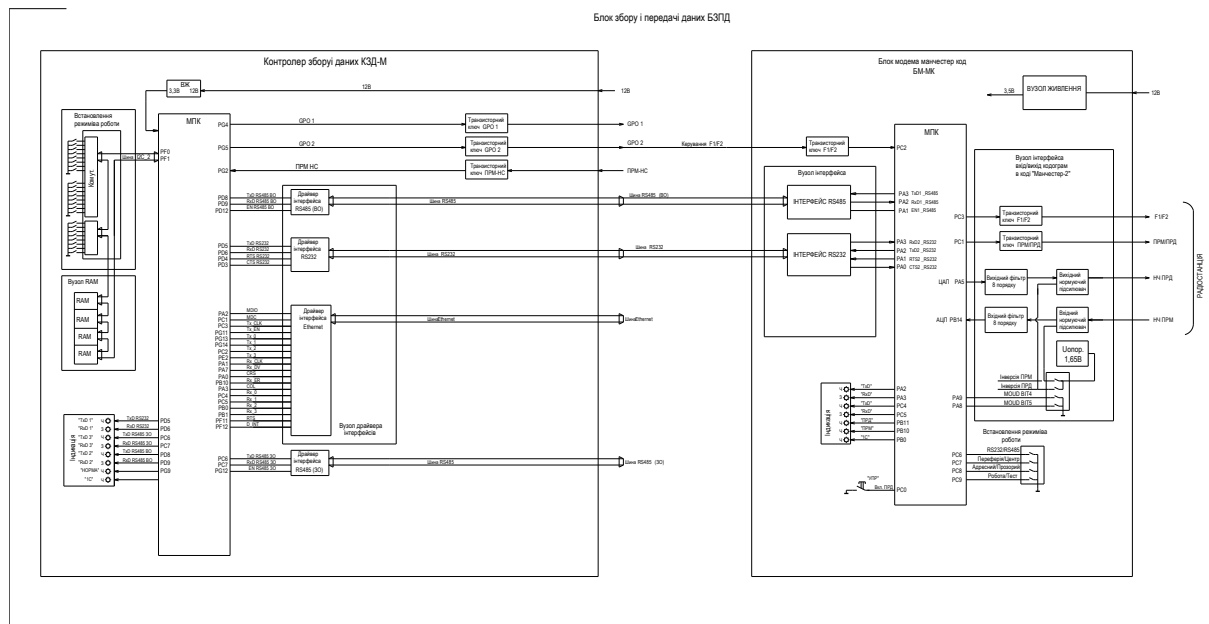


Рисунок 2.15 - Функціональна схема підключення блоку КЗД до обладнання каналу зв'язку

На рисунку 2.16 приведено конструктивне виконання блоку КЗД.

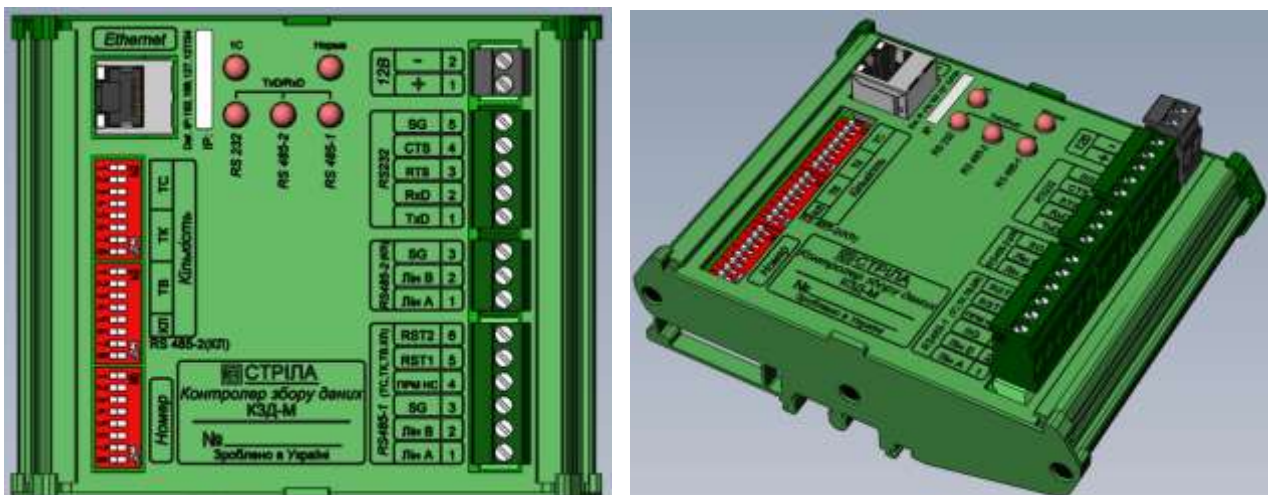


Рисунок 2.16 - Конструктивне виконання блоку КЗД

На рисунку 2.17 приведено конструктивне виконання плати керування блоку КЗД.



Рисунок 2.17 - Конструктивне виконання плати блоку керування КЗД

Режими роботи блоку КЗД забезпечується відповідним програмним забезпеченням мікропроцесора установку [48, 49, 50]. Програмування мікропроцесора, здійснюється через роз'єм шляхом підключення програматора. Режими роботи блоку КЗД встановлюються перемикачами S2÷S4 модуля МКЗД згідно табл. 2.3 - 2.6.

Таблиця 2.3 - Розміщення числа блоків ТВ, ТС, КЛ

Кількість блоків ТВ	Перемикачі S2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	<u>Вкл.</u>							
3		<u>Вкл.</u>						
4	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>						
5			<u>Вкл.</u>					
6	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>					
7		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>					
8	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>					
Кількість блоків ТС								
1								
2				<u>Вкл.</u>				
3					<u>Вкл.</u>			
4				<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>			
5						<u>Вкл.</u>		
6				<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>		

Кількість блоків ТВ	Перемпачі S2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
7					<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>		
8				<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>		
1								
2							<u>Вкл.</u>	
3								<u>Вкл.</u>
4							<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>

Таблиця 2.4 - Увімкнення режимів роботи телекерування

Кількість блоків ТК	Перемпачі S3							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	<u>Вкл.</u>							
3		<u>Вкл.</u>						
4	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>						
5			<u>Вкл.</u>					
6	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>					
7		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>					
8	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>					
9				<u>Вкл.</u>				
10	<u>Вкл.</u>			<u>Вкл.</u>				
11		<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>				
12	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>				
13			<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>				
14	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>				
15		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>				
16	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>				
Спрощений режим					<u>Вкл.</u>			
ПРД НС						<u>Вкл.</u>		
Режим М							<u>Вкл.</u>	
Тест								<u>Вкл.</u>

Таблиця 2.5 - Позиціонування локального номера КП

Ідент. №	Перемикачі S4							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Блок №1	Вкл.							
Блок №2		Вкл.						
Блок №3	Вкл.	Вкл.						
Блок №4			Вкл.					
Блок №5	Вкл.		Вкл.					
Блок №6		Вкл.	Вкл.					
Блок №7	Вкл.	Вкл.	Вкл.					
Блок №8				Вкл.				
Блок №9	Вкл.			Вкл.				
Блок №10		Вкл.		Вкл.				

Блок №255	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.

Таблиця 2.6 - Налаштування шини RS485_BO

Контакти	Перемикачі S1	
	проміжний блок	перший, останній блок
1-8		Вкл.
2-7		Вкл.
3-6		Вкл.

Інформація каналом зв'язку поступає на блок КЗД блоку шиною USART. Прийняті дані обробляються і поступають на контролери блоків телесигналізації, телевимірювання, телекерування, БЦТ шиною RS485 BO для виконання. Після виконання команди контролери блоків ТС, ТК, ТВ формують інформацію-відповідь і по цій же шині видають її на блок КЗД. Після прийому інформація-відповідь від контролерів блоків телесигналізації, телевимірювання, телекерування, контролера лічильників, блоку КЗД формує відповіді для пересилання каналами зв'язку на пристрої ПДК, а в ПЗП блоку КЗД створюється архів звернень до КЗД із збереженням часових міток, які синхронізовані з показами годинника часу GPS.

Вузол індикації блоку КЗД показує рух сигналів TxD, RxD обох інтерфейсів, а також показує сигнали “мигання” “1с” і “НОРМА” - інформація про роботу мікропроцесора та стан нормальної роботи контролерів телесиг-на-

лізації, телевимірювання, телекерування, БЦТ. Для утворення часових міток блок КЗД знімає дані про точний час шиною RS485 ВО з системного годинника БСГ, зв'язаного з системою GPS.

Живлення блоку КЗД забезпечують стабілізатори напруги. Стабілізатор напруги отримує на входу постійну напругу 12 В, а на виході - постійну напругу 5 В, яка поступає вхід іншого стабілізатора напруги на виході якого формується постійна напруга 3,3 В.

Обладнання шафи телемеханіки трансформаторної підстанції побудоване за модульним принципом. Блок КЗД та блоки керування ТС, ТВ і ТК об'єднані між собою шиною даних RS485 і мають в собі мікропроцесорне керування. Керування обміном даних між блоками ТС, ТВ, ТК та КЗД побудовано за принципом «*Master-Slave*»: блок КЗД виступає в ролі «*Master*», а блоки ТС, ТВ, ТК - в ролі «*Slave*». Всі блоки - ТС, ТВ, ТК - працюють автономно і тільки віддають інформацію блоку КЗД тільки за його запитом. Блок КЗД постійно опитує блоки ТС, ТВ, ТК і записує отриману інформацію від блоків в пам'ять для подальшої обробки.

Керування блоками ТС, ТВ, ТК базується на модулі контролера керування (МКК). В залежності від типу блока до модуля МКК приєднується узгодження:

- для блоку телесигналізації модуль МТС;
- для блоку телевимірювання модуль МТВ;
- для блоку телекерування модуль МКР.

Така побудова блоків ТС, ТВ, ТК стала можливою завдяки використанню потужного 32-розрядного мікропроцесора STM32F303RCT6, в який записані програмні модулі для керування блоками ТС, ТВ, ТК і вибір яких відбувається при установці їх в певний блок керування.

На рис. 2.18 приведено функціональну схему модуля МКК, а на рис. 2.19 – його конструктивне виконання.

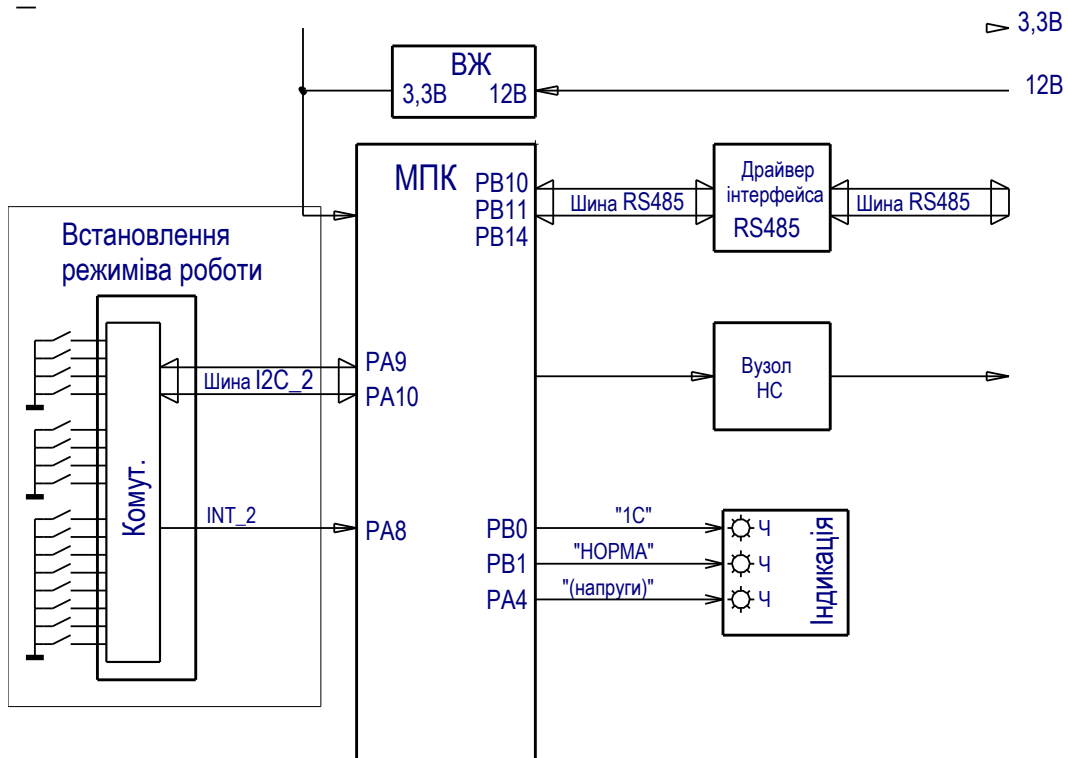


Рисунок 2.18 - Функціональна схема модуля МКК

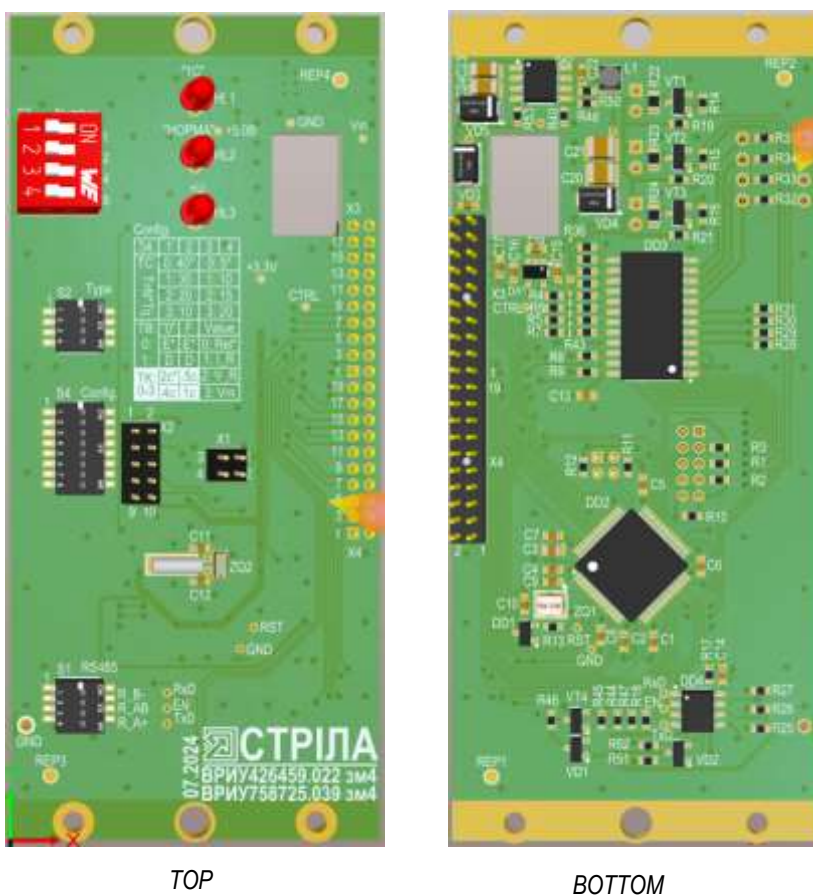


Рисунок 2.19 - Конструктивне виконання модуля МКК

В табл. 2.7 приведені приклади налаштування режиму роботи шини RS485.

Таблиця 2.7 - Варіанти встановлення режиму роботи шини RS485

Контакти	Перемикач S1		
	перший блок	проміжний блок	Останній блок
1	<u>Вкл.</u>		
2	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>
3	<u>Вкл.</u>		

Перемикач S2 призначений для вибору типу субблока, в складі якого функціонує модуль МКК. В табл. 2.8 приведено положення перемикача S2 для різних субблоків керування.

Таблиця 2.8 - Положення перемикача S2 для різних субблоків керування

<u>Субблок</u>	Перемикач S2			
	1	2	3	4
БТС-24	<u>Вкл.</u>			
БТВ-16		<u>Вкл.</u>		
БКР-8Ф			<u>Вкл.</u>	
БТС-8_БТК-4Ф				<u>Вкл.</u>

Мікропроцесор блоку МКК забезпечує автоматичний вибір типу модулів керування (МТС, МКР, МТВ, МТСКР) які керують блоками БКТС, БКТР, БКТВ, БК-8ТС-4ТК, (при цьому контакти перемикача S2 повинні бути вимкнені). Для автоматичного вибору типу модуля керування (МТС, МКР, МТВ, МТСКР) призначені контакти роз'єму X4 з яких сигнали поступають на порти мікропроцесора МКК. В табл. 2.9 приведені коди вибору типу блоків керування (БКТС, БКТР, БКТВ, БК-8ТС-4ТК)

Таблиця 2.9 - коди вибору типу блоків керування

Тип блоку	Виводи <u>роз'єма X4</u>			
	15	16	17	18
СБК-ТВ (модуль МТВ)	Лог.0	Лог.1	Лог.0	Лог.0
СБК-ТР (модуль МКР)	Лог.0	Лог.0	Лог.1	Лог.0
СБК-ТС (модуль МТС)	Лог.0	Лог.0	Лог.0	Лог.1
БТСК-8ТС-4ТК (модуль МТСКР)	Лог.1	Лог.0	Лог.0	Лог.1

Перемикач S3 призначений для встановлення порядкового номера блока в якому функціонує вказаний субблок (ТС, ТК, ТВ). В табл. 2.10 приведено поло-

ження перемикачів S3 для 15 блоків. Число номерів може бути збільшено на програмному рівні.

Таблиця 2.10 - встановлення порядкового номера блока

Контакти	Перемикач S3			
	1	2	3	4
1	<u>Вкл.</u>			
2		<u>Вкл.</u>		
3	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>		
4			<u>Вкл.</u>	
5	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>	
6		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	
7	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	
8				<u>Вкл.</u>
9	<u>Вкл.</u>			<u>Вкл.</u>
10		<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>
11	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>
12			<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>
13	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>
14		<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>
15	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>

Перемикач S4 призначений для вибору режиму роботи модуля МКК для різних субблоків керування (ТС, ТК, ТВ).

Для забезпечення процесу керування телесигналізацією використовується блок БТС-24, який здійснює виконання функцій збору сигналів ТС системи АСДК «Стріла» та інших систем дистанційного керування:

- фіксації та запам'ятовування поточних сигналів ТС від обладнання контрольованих пунктів системи АСДК;
- формування та передачу на блок КЗД кодограми відповіді на запит інформації про поточний стан сигналів ТС;
- формування та передачу на блок КЗД сигналу НС, який вказує на несанкціоновану зміну стану ТС або на несправність блоку БТС-24;
- формування та передачу на блок КЗД інформації про стан роботи БТС-24 при кожному його опитуванні.

На рис. 2.20 приведено структурну схему блоку БТС-24, а на рис. 2.21 - його конструктивне виконання.

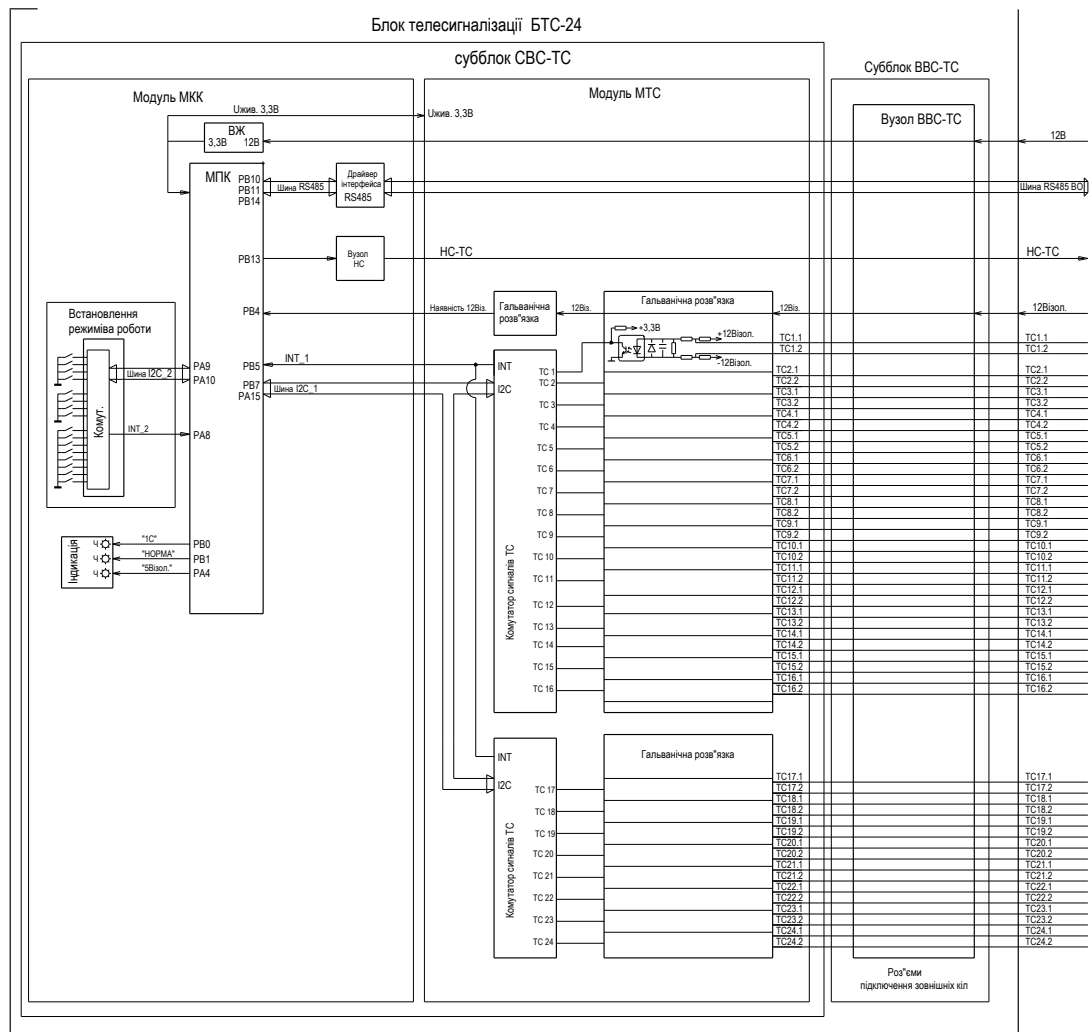


Рисунок 2.20 - Схема структурна блоку БТС-24

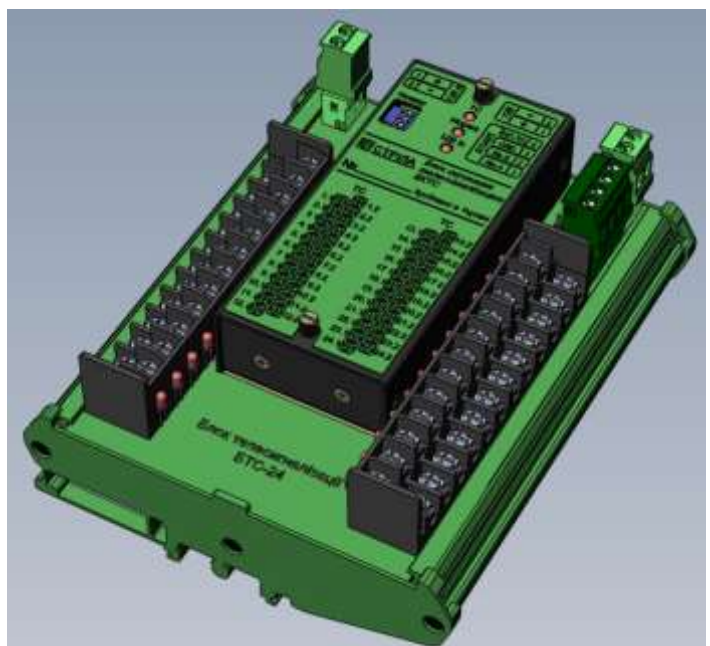
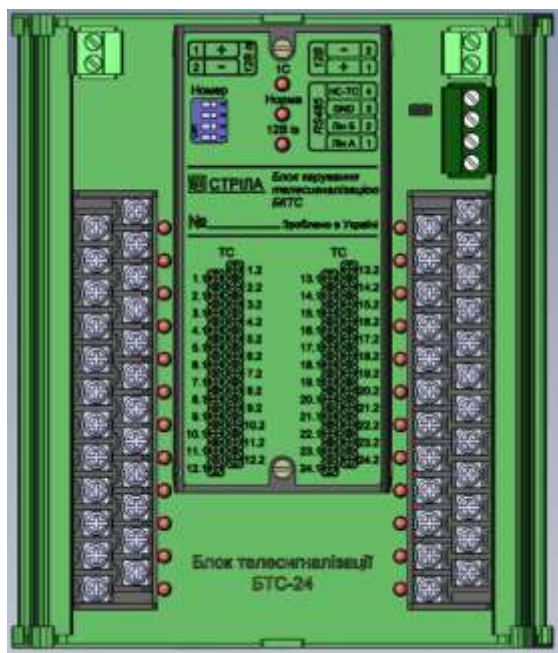


Рисунок 2.21 - Конструктивне виконання БТС-24

Конструктивно блок БТС-24 складається з двох субблоків: вводу сигналів телесигналізації СВС-ТС та керування телесигналізацією СБК-ТС.

Субблок СВС-ТС призначений для:

- а) під'єднання зовнішніх кіл телесигналізації;
- б) візуалізації стану зовнішніх кіл телесигналізації;
- в) комутація зовнішніх кіл телесигналізації до СБК-ТС;
- г) комутація зовнішніх кіл живлення 12В та 12Віз. до СБК-ТС;
- д) комутація зовнішніх кіл шини RS485-ВО.

На рис. 2.22 та 2.23 приведено конструктивне виконання субблока СВС-ТС.

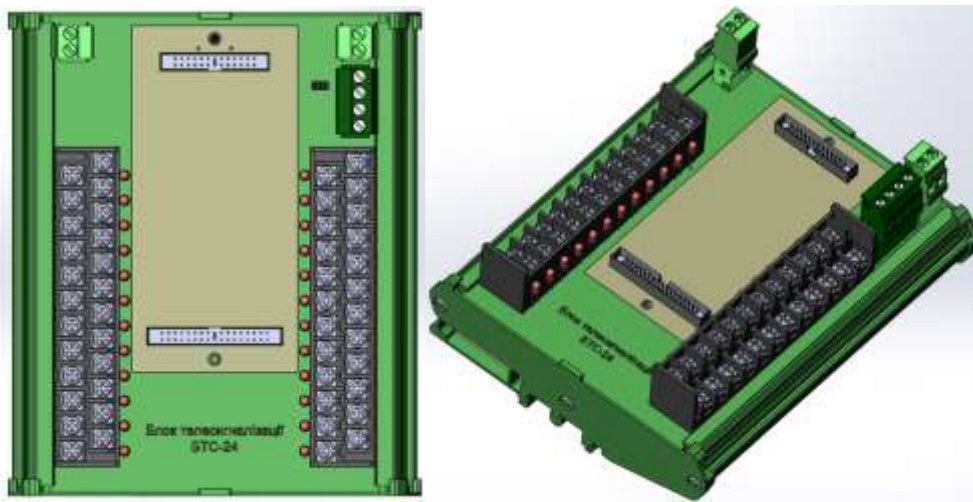


Рисунок 2.22 - Конструктивне виконання субблока СВС-ТС

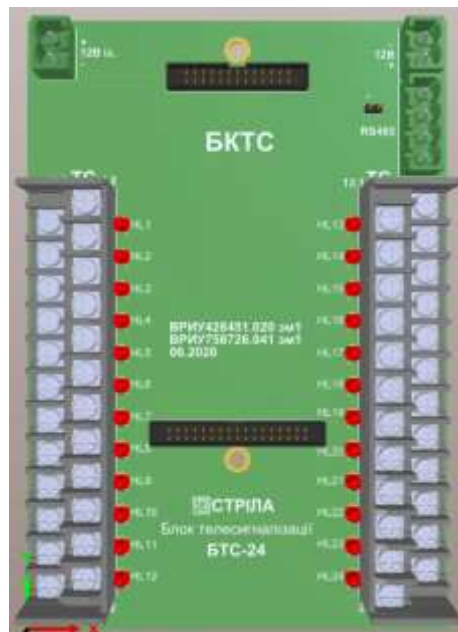


Рисунок 2.23 - Конструктивне виконання плати субблоку СВС-ТС

Субблок керування телесигналізацією СБК-ТС виконує такі функції:

- фіксує стан сигналів телесигналізації при замиканні певних контактів виконавчих механізмів;
- формує та передає на блок КЗД інформацію про стан сигналів телесигналізації для її передачі каналами зв'язку на обладнання ПКД;
- формує та передає на блок КЗД сигнали про нештатну роботу виконавчих механізмів КП (несанкціонована зміна стану сигналу ТС) для їх передачі по каналах зв'язку на обладнання ПКД.

Конструктивно субблок керування телесигналізацією СБК-ТС складається з двох модулів: МКК і МТС. На рис. 2.24 приведено конструктивне виконання субблоку керування телесигналізацією СБК-ТС.



Рисунок 2.24 - Конструктивне виконання субблоку керування телесигналізацією СБК-ТС

Модуль телесигналізації (МТС) використовується для створення гальванічної розв'язки входних сигналів телесигналізації та перетворення позиційного коду сигналів телесигналізації в послідовний код для його передачі шиною I2C на

схему МКК. На рис. 2.25 приведен конструктивные выполнения модуля теле-
сигнализации МТС

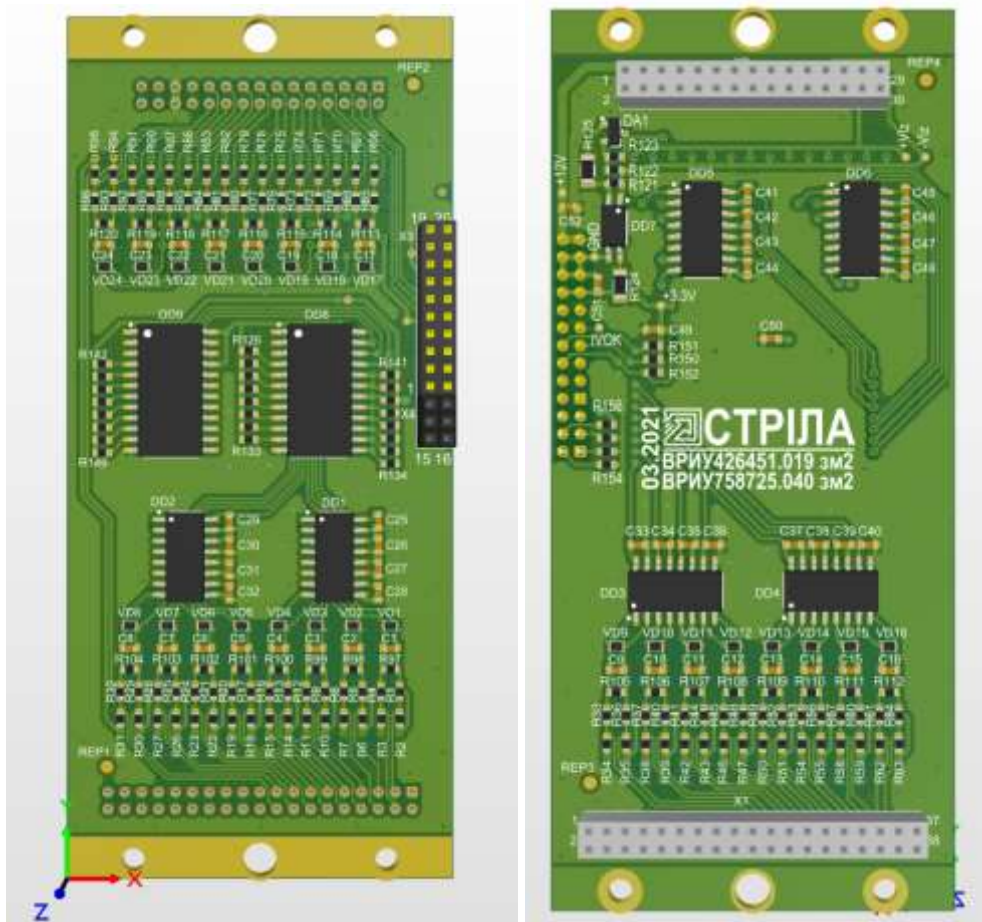


Рисунок 2.25 - Конструктивне виконання плати (верх і низ) модуля МТС

Мікропроцесор модуля МКК кожні 600 мс записує стан сигналів телесигналізації, які надходять через вузол перетворення на порти шини І2С. Після запису сигналів телесигналізації (МКК) порівнює сигнали телесигналізації з початковими їх значеннями і при співпадінні цикл запиту здійснює повторення. У випадку не співпадіння сигналів телесигналізації з попередніми мікропроцесор після 3-кратного опитування станів телесигналізації здійснює формування сигналу НС, що поступає на блок КЗД. Після звернення блоку КЗД до потрібного БТС здійснюється передача інформації стану сигналів телесигналізації - сигнал НС знімається і БТС перекидається в наступний режим роботи. Режими роботи БТС-24 встановлюються перемикачами S2÷S4 на модулі МКК згідно таблиць 2.11 і 2.12.

Таблиця 2.11 - Встановлення індивідуального номера БТС

<u>Ідент. №</u>	<u>Перемикач S2</u>				<u>Перемикач S3</u>			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Блок №1	<u>Вкл.</u>							
Блок №2		<u>Вкл.</u>						
Блок №3	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>						
Блок №4			<u>Вкл.</u>					
Блок №5	<u>Вкл.</u>		<u>Вкл.</u>					

Блок №15	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>				
Блок №16					<u>Вкл.</u>			
Блок №17	<u>Вкл.</u>				<u>Вкл.</u>			

Блок №255	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>

Таблиця 2.12 – Встановлення кількості ТС

Кількість ТС	<u>Перемикач S4</u>	
	1	2
8 ТС		
16 ТС	<u>Вкл.</u>	
24 ТС		<u>Вкл.</u>
32 ТС	<u>Вкл.</u>	<u>Вкл.</u>

Блок БТС після отримання з блоку КЗД шиною RS485 кодограми запиту стану телесигналізації записує стан сигналів телесигналізації, формує їх у пакет та передає шиною RS485 на КЗД. Блок БТС-24 отримує живлення 12 В, а вузли блоку БТС – напругу 3,3 В, яка формується перетворювачем напруги DC/DC в модулі МКК. Для формування гальванічної розв'язки входних кіл сигналів установку [51, 52, 53] телесигналізації на модуль МТС через блок БТС-С поступає напруга живлення 12 В від ББЖ-12В (ізолюваного блоку живлення).

2.7 Реалізація процесу телекерування

Блок телекерування БТК-8Ф використовується для отримання сигналу *включення/відключення* фідера за допомогою *замикання/розмикання* «сухих контактів» реле керування на блоку БТК-8Ф системи АСДК. Вказані контакти *включа-ють/відключають* сигнали керування високовольтними вимикачами на

- формування та передачу на блок КЗД сигналу сигнал “помилки роботи” (НС-БТКР), який вказує на несправність блоку БТК-8Ф.

На рис. 2.26 приведено структурна схема блоку БТК-8Ф, а на рис. 2.27 – його конструктивне виконання.

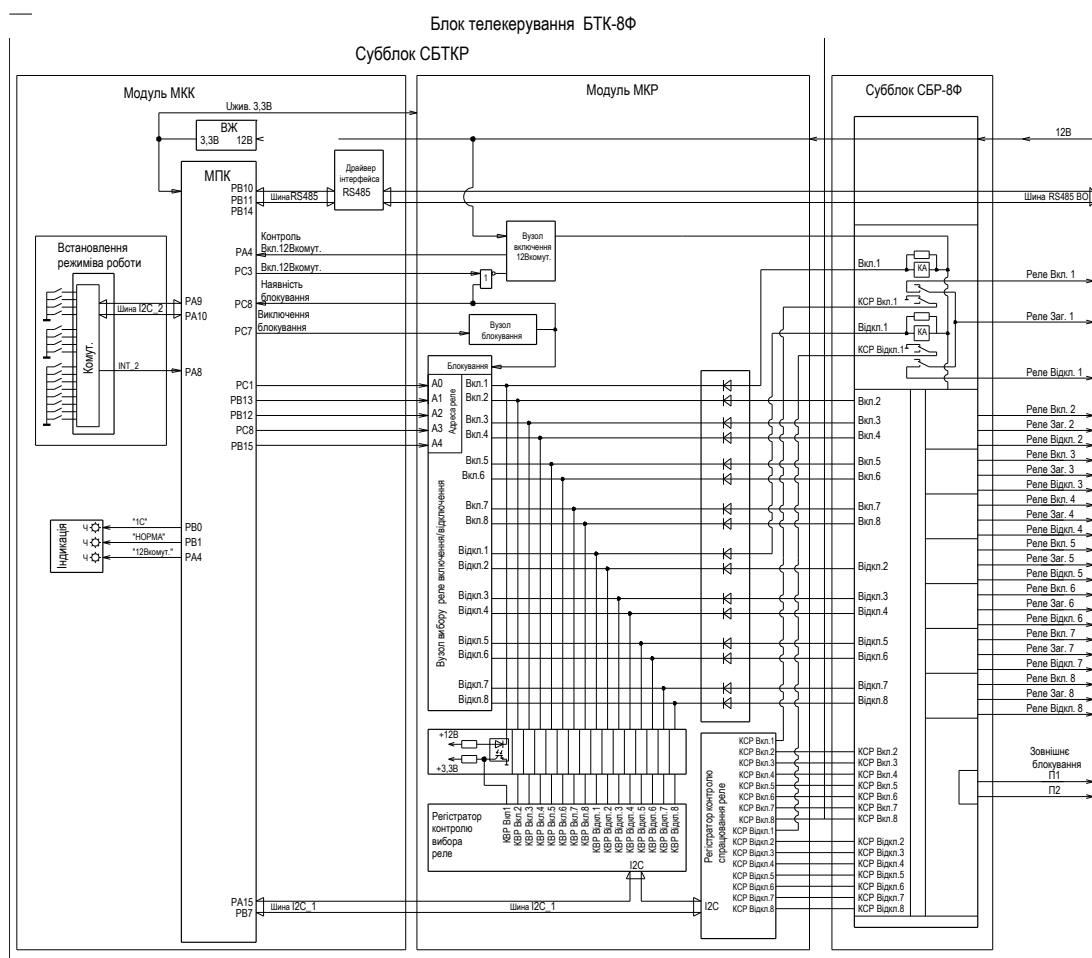


Рисунок 2.26 – Структура блоку БТК-8Ф

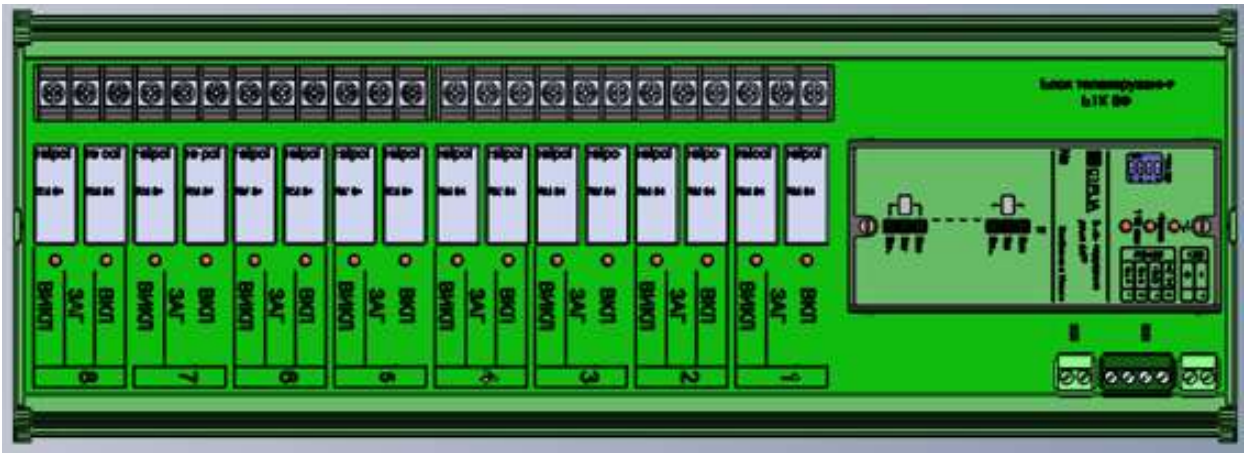


Рисунок 2.27 - Конструктивне виконання блоку БТК-8Ф

Субблок СБР-8Ф призначений для комутації зовнішніх кіл телекерування: під'єднання зовнішніх кіл телекерування до СБТКР; під'єднання зовнішніх кіл живлення до субблоку СБТКР; комутації зовнішніх кіл шини RS485-ВО до субблоку СБТКР. На рис. 2.28 приведене конструктивне виконання субблоку СБР-8Ф.

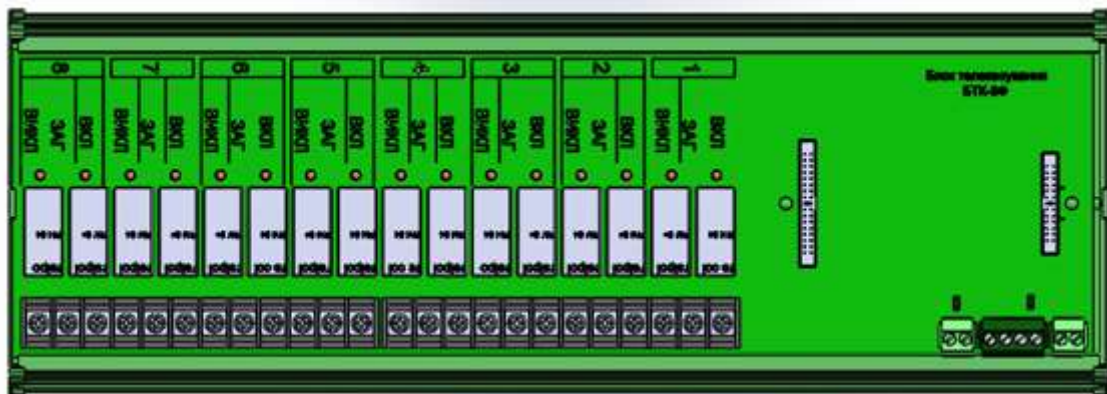


Рисунок 2.28 - Конструктивне виконання субблоку СБР-8Ф

На субблоці СБР-8Ф передбачена можливість блокування спрацювання реле - для цього необхідно зняти перемичку X8 (J2), а до контактів роз'єму X9 під'єднати зовнішній вимикач. При замкнених контактах зовнішнього вимикача, напруга 12В поступає на реле КА1 модуля МКР, яке відповідає за подачу напруги 12В_{комут.} на реле субблоку СБР-8Ф. При розімкнених контактах зовнішнього вимикача напруга 12В не поступає на реле КА1 модуля МКР, в результаті чого відбувається блокування подачі напруги 12В_{комут.} на реле субблоку СБР-8Ф при подачі команди від субблоку СБКР на включення реле.

Роз'єм Х6 субблоку СБР-8Ф призначений для підключення шини RS485-BO до блоку СБКР і підключення блоку СБР-8Ф до шини RS485-BO реалізовано за допомогою роз'єма Х2. Від варіанту складання шафи телемеханіки резистор R25 замикає Лінію А та Лінію В через перемичку на роз'ємі Х3 у тому випадку, коли блок БТК-8Ф під'єднано останнім до шини RS485-BO.

Конструктивно субблок керування реле (СБКР) складається з двох модулів: МКК і МКР. На рис. 2.29 приведено конструктивне виконання субблоку СБКР.



Рисунок 2.29 - Конструктивне виконання субблоку СБКР

Модуль МКР виконує наступні функції:

- формує сигнал вибору та підготовки для включення реле керування за командою з мікропроцесора модуля МКК;
- формує контрольний сигнал правильності вибору на включення вибраного реле керування;
- формує сигнал подачі живлення для включення реле керування за командою з мікропроцесора модуля МКК;
- формує контрольний сигнал спрацювання вибраного реле керування.

На рис 2.30 приведено конструктивне виконання МКР.

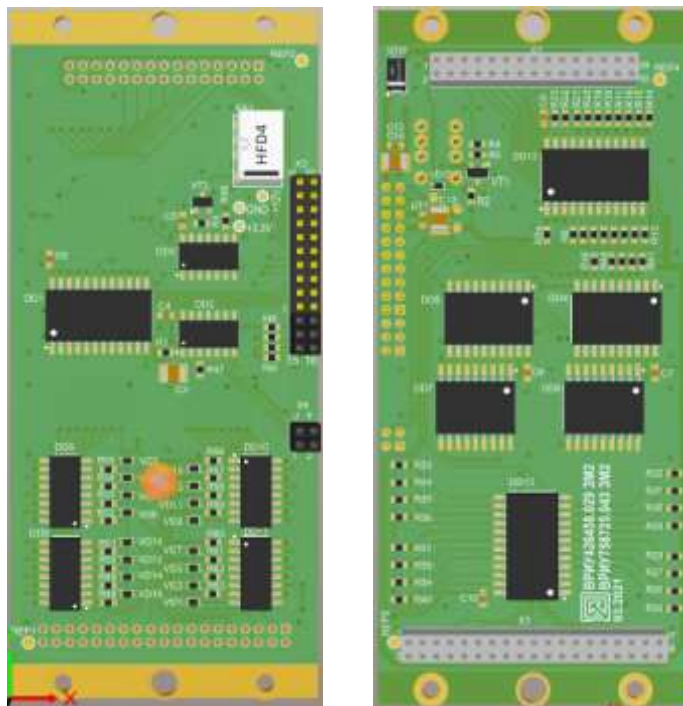


Рисунок 2.30 - Конструктивне виконання плати модуля МКР

2.8 Реалізація процесу керування телевимірами

Блок телевимірів БТВ-16 забезпечує виконання функцій по вимірюванню аналогових сигналів системи АСДК «Стріла» та інших систем дистанційного керування [22]. Блок телевимірів виконує наступні функції:

а) вимірює аналогові сигнали у вигляді уніфікованих величин постійного струму $0 \div 5\text{mA}$, $\pm 5\text{mA}$, $4 \div 20\text{mA}$;

б) перетворює вимірювані аналогові сигнали в цифрову форму, число розрядів в яких представлені результати виміру – 16 каналів виміру;

в) формування та передачу на блок КЗД кодограми відповіді на запит інформації про поточний стан сигналів телевиміру;

г) формування та передачу на блок КЗД сигналу сигнал “помилки роботи” (НС-БКТВ), який вказує на несправність блоку БТВ-16;

д) формування та передачу на блок КЗД інформації про стан роботи БТВ-16 при кожному його опитуванні.

На рис. 2.31 приведено конструктивне виконання блоку БТВ-16, а на 2.32 – його структурна схема.

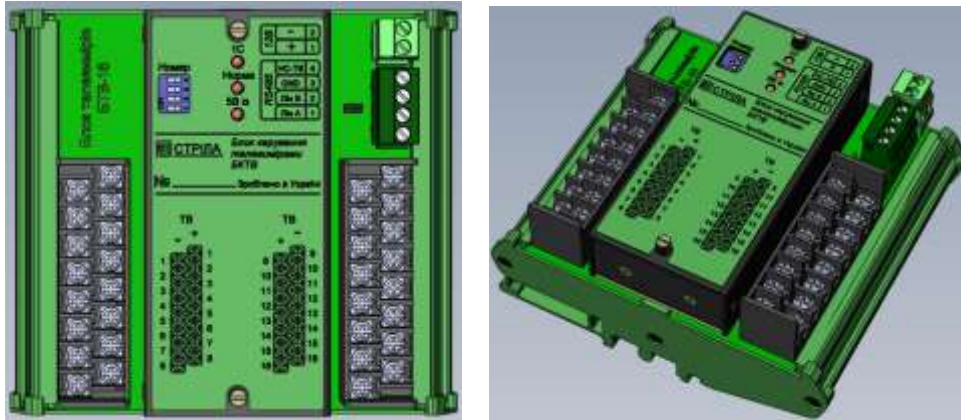


Рисунок 2.31 - Конструктивне виконання блоку БТВ-16

Конструктивно блок БТС-24 складається з двох субблоків: вводу сигналів телевиміру СВС-ТВ та керування телевимірюваннями СБК-ТВ.

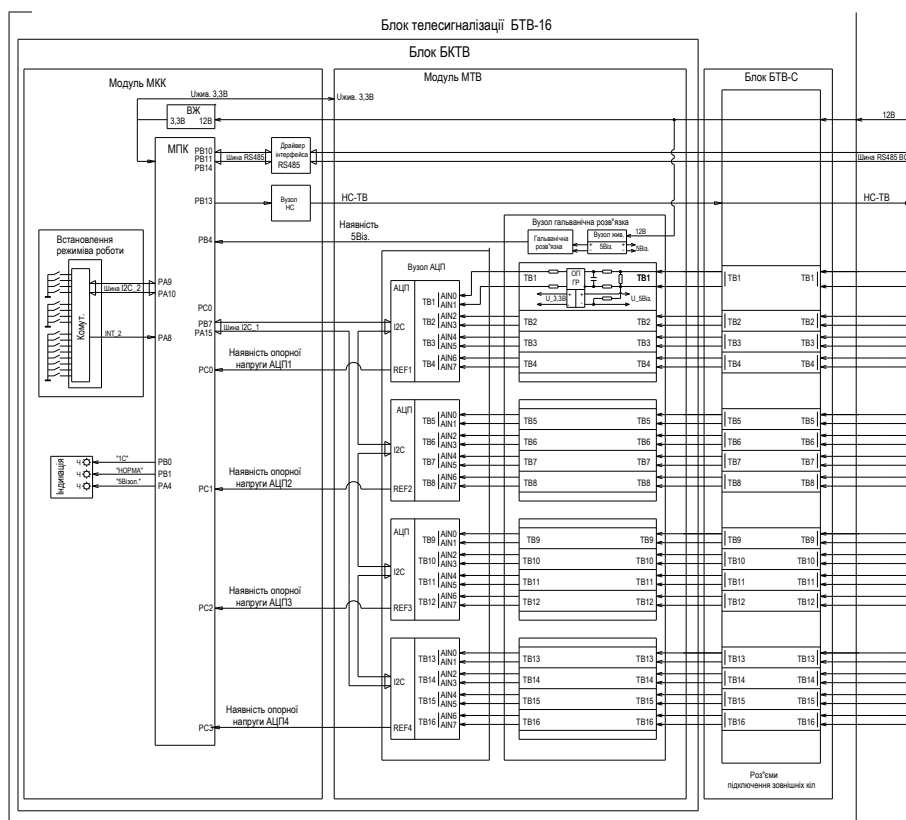


Рисунок 2.32 - Структурна схема блоку БТВ-16

Суублок СВС-ТВ виконує наступні функції:

- комутує зовнішні кола телевимірювання;
- комутує зовнішні кола телевимірювання до субблоку СБК-ТВ;
- комутує зовнішні кола живлення 12В до субблоку СБК-ТВ;
- комутує зовнішні кола шини RS485-BO.

На рис. 2.33 приведено конструктивне виконання субблоку СВС-ТВ.

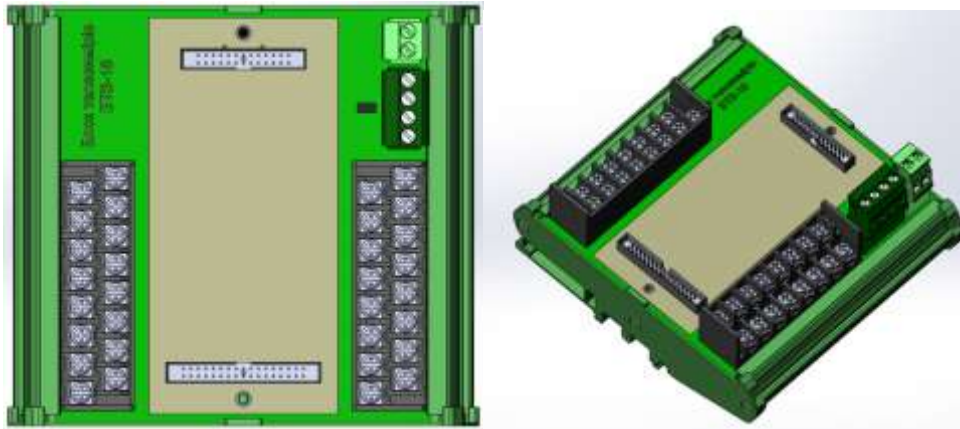


Рисунок 2.33 - Конструктивне виконання субблока SVC-TV

До клем субблоку SVC-TV під'єднуються виходи вимірювальних трансформаторів в обладнання комірок (число трансформаторів, виходи яких під'єдані до клем субблоку SVC-TV, становить 16). Роз'єм X6 субблоку SVC-TV призначений для підключення шини RS485-BO до блоку СБК-TV. Підключення блоку СБК-TV до шини RS485-BO здійснюється через роз'єм X2.

Субблок телевимірів СБК-TV виконує наступні функції:

- а) вимірює аналогові сигнали у вигляді уніфікованих величин постійного струму $0 \div 5 \text{ mA}$, $\pm 5 \text{ mA}$, $4 \div 20 \text{ mA}$;
- б) перетворює вимірювані аналогові сигнали в цифрову форму, число розрядів в яких представлені результати виміру – 16;
- в) формування та передачу на блок КЗД кодограми відповіді на запит інформації про поточний стан сигналів телевимірів;
- г) формування та передачу на блок КЗД сигналу сигнал “помилки роботи” (НС-БКТВ), який вказує на несправність блоку БТВ-16;
- д) формування та передачу на блок КЗД інформації про стан роботи БТВ-16 при кожному його опитуванні.

Конструктивно субблок керування телевимірами СБК-TV складається з 2 модулів: МКК і МТВ. На рис. 2.14 приведено конструктивне виконання СБК-TV.



Рисунок 2.34 - Конструктивне виконання блок СБК-ТВ

Модуль телевимірювання МТВ виконує наступні функції:

- а) забезпечує гальванічну розв'язку входних аналогових сигналів ТВ;
- б) вимірює аналогові сигнали у вигляді уніфікованих величин постійного струму $0 \div 5 \text{ mA}$, $\pm 5 \text{ mA}$, $4 \div 20 \text{ mA}$;
- в) конвертує вимірювані аналогові сигнали в цифровий послідовний код;
- г) передає цифровий код шиною I2C на модуль МКК.

На рис. 2.35 приведено конструктивне виконання модуля МТВ.

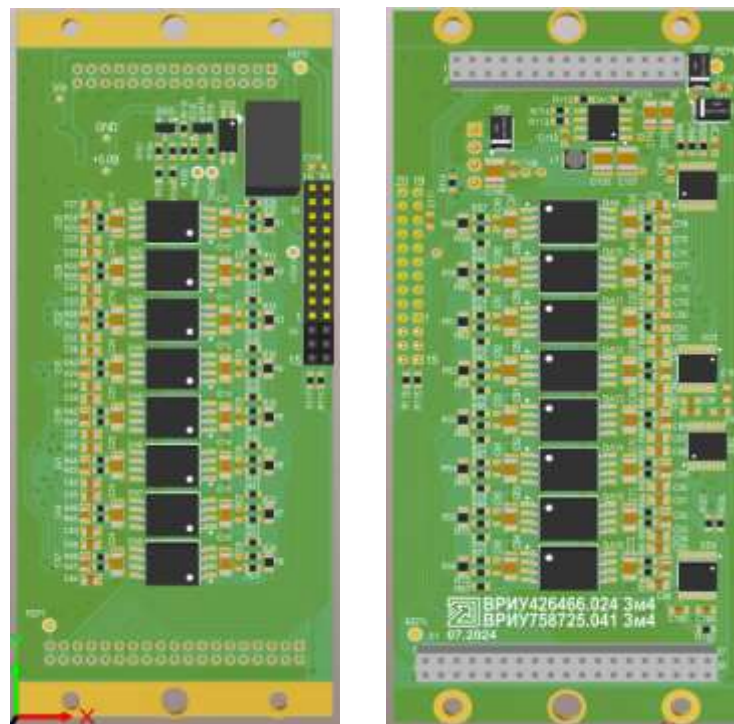


Рисунок 2.35 - Конструктивне виконання модуля МТВ

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір каналу передачі даних

Одним із факторів забезпечення надійної роботи обладнання трансформаторної підстанції полягає в надійності роботи каналу зв'язку між обладнанням контрольованого пункту (КП) та диспетчерського пункту керування (ДП). Передача даних в каналі зв'язку повинна відбуватись згідно вимог стандарту України ДСТУ ІЕС 60870-5-101/104:2014, який розроблено на базі міжнародного стандарту ІЕС 60870-5-101/104 [23]. Дія цього стандарту розповсюджується на все обладнання телемеханіки, що експлуатується в енергосистемах України [24]. Цей стандарт визначає порядок побудови каналів зв'язку в системах дистанційного керування енергетичними об'єктами України.

Вказаний стандарт забезпечує:

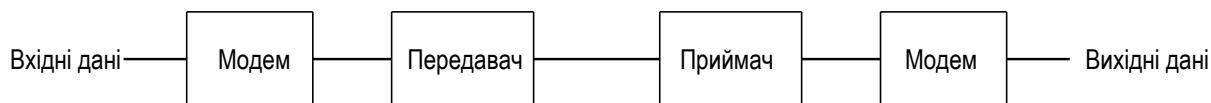
- сумісність роботи пристроїв телемеханіки вітчизняного та зарубіжного виробництва;
- розширення видів оперативної інформації, що передається каналами зв'язку при керуванні енергетичними об'єктами;
- регламентує передачу оперативної інформації за допомогою міток часу;
- уніфікацію протоколів обміну для різних рівнів керування енергетичними об'єктами.

Загальні вимоги до роботи системи телемеханік по обміну інформацією включає в себе:

- підтримку фізичного, каналного та прикладного рівня протоколу;
- забезпечення двостороннього обміну телемеханічними даними;
- діагностику стану каналу зв'язку;
- забезпечення передачі даних різними методами;
- підтримку пріоритетної передачі даних які виникають в при роботі телемеханічного обладнання;
- забезпечення «гарячого резервування» каналів зв'язку.

3.2 Дослідження рівнів стандарту ІЕС 60870-5-101/104

Фізичний рівень стандарту ІЕС 60870-5-101/104 розповсюджується на наступне обладнання прийому та передачі інформації:



Фізичний рівень передачі даних представляє собою обладнання каналу зв'язку, що відповідає за передачу даних від об'єкта до об'єкта та від об'єктів, об'єднаних між собою у вигляді зірки. Основні вимоги до фізичного рівня каналу зв'язку є наступними:

- надійна передача даних в полі інтенсивних завад, присутніх на трансформаторних підстанціях;
- передача даних від об'єкта до об'єкта без спотворення інформації;
- достатня швидкість трансляції інформації для роботи системи АСДК;
- використання для приєднання обладнання різних типів інтерфейсів (RS232, RS485, Ethernet).

Канальний рівень стандарту ІЕС 60870-5-101/104 використовується для функцій формування пакетів даних та здійснює наступні процедури:

- з'єднання обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції та обладнання диспетчерського пункту керування каналом зв'язку;
- контроль за достовірною доставкою даних від обладнання диспетчерського пункту керування до обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції і навпаки;
- захист від втрати та дублювання прийому кадрів інформації;
- формування кадрів згідно стандарту ІЕС 60870-5-101 з отриманої інформації від обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції для подальшої передачі її на обладнання диспетчерського пункту керування;
- контроль за достовірною доставкою даних, знаходження помилок під час передачі даних, захист від втрати та дублювання кадрів при передачі інформації

- декодування прийнятих кадрів та формування їх в блоки для передачі на обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції прикладний рівень);
- діагностику стану каналу зв'язку та інформування обладнання прийому/передачі даних про його стан.

Канальний рівень передбачає три класи послуг:

- клас S1 - посилку даних без відповіді;
- клас S2 - посилку даних з підтвердженням прийому даних;
- клас S3 - посилку по запиту даних.

Клас S1- відповідає роботі обладнання по симплексному каналу зв'язку. Клас S2 та S3 - відповідає роботі обладнання по дуплексним каналу зв'язку. В нашому випадку за основу берем клас S1 так як обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції працює в вузькосмуговому симплексному радіо каналу зв'язку.

Прикладний рівень стандарту IEC 60870-5-101/104 призначений для передачі даних технологічного характеру:

- дані телесигналізації ТС;
- дані телекерування ТК;
- дані телевимірювань ТВ;
- дані реєстратора аварійних подій на об'єкті керування;
- дані астрономічного часу для синхронізації роботи обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції та диспетчерського пункту керування;
- дані діагностичного контролю обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції;
- дані службової інформації керування;
- інші дані.

Дані технологічного характеру формуються в інформаційні блоки однорідного масиву даних.

Дані телесигналізації передаються бітами об'єднаними в блоки по 8 байт, сигнал ТС може бути представлений як в 1-бітному так і в 2-бітному форматі, тобто сигнал ТС представлений 1 бітом або 2 бітами.

Дані телевимірювання можуть бути представлені:

- у фізичних одиницях;
- у відносних одиницях (масштабовані);
- цілими числами;
- цілими числами з фіксованою комою;
- цілими числами з плаваючою комою.

Дані телевимірювань передаються в 1 бітному, 2 бітному, 4 бітному форматі передачі даних. Для організації функції одночасного зрізу даних телевимірювань на всіх об'єктах КП необхідно встановити однаковий астрономічний час [25]. Вимоги до точності встановлення часу 100 мс, а для аварійних ситуацій – 10 мс.

3.3 Передача інформації згідно вимог протоколу FT1.2

Формат протоколу FT1.2. Прийом та передача даних відбувається згідно протоколу FT1.2 у відповідності до стандарту IEC 60870-5-101 [24]. Вказаний протокол передачі даних є асинхронним і передача інформації згідно цього протоколу FT1.2 відбувається в старт-стопному режимі передачі даних. Протокол FT1.2 передбачає наступні види інформаційних кадрів:

- кадр фіксованої довжини, які починаються байтом START1=10h;
- кадр змінної довжини, які починаються байтом START2=68h;
- одно байтні посилки CONTROL1=E5h та CONTROL2=A2h.

Кадр фіксованої довжини може мати в собі будь яке число байтів, але при цьому для приймаючої сторони має бути відоме число байтів, що передаються. Передача даних відбувається після передачі стартового байта START1.

Кадр змінної довжини може мати в собі від 1 байта до 255 байт. Передача даних відбувається в такому порядку, спочатку передається стартовий байт START2 потім інформація з вказаним числом байтів які будуть передаватись після цього знову передається стартовий байт START2 а за ним передаються дані. Кадри змінної та фіксованої довжини закінчуються байтом контрольної суми (КС) та стоп-байтом END=16h.

Однобайтні посилки передбачені для службових команд (передача квитанції про прийом даних).

Згідно вимог протоколу FT1.2 повинні виконуватись наступні дії:

- перед початком передачі даних стан лінії повинен бути в одиничному стані (двійкова 1);

- передача байту інформації починається стартовим бітом (двійковий 0) далі передається інформаційний байт (передача починається з молодшого біта) закінчується передача бітом парності та стоповим бітом (двійкова 1);

- між символами кадра не допускається мати інтервал;

- при виявленні в процесі передачі даних помилки то, потребується встановлення інтервалу між кадрами не менше 40 біт, а стан лінії повинен бути в одиничному стані (двійкова 1);

- передача інформації закінчується передачею контрольної суми (КС) яка являється арифметичною сумою по модулю 256 всіх байтів які передались починаючи з байту керування;

- контроль прийому інформації приймач виконує:

- а) по байту - стоп-біт та біт парності,

- б) по кадру - стартовий байт, КС та слово закінчення,

- в) по змінній довжині кадра - ідентичність двох байтів довжиною L.

Структура кадру згідно вимог протоколу FT1.2 приведена в табл. 3.1, а загальна структура блоку даних для користувачів - в табл. 3.2.

Таблиця 3.1- Структура кадру згідно вимог протоколу FT1.2

Кадр фіксованої довжини		Кадр змінної довжини	
START1	10h	START2	68h
		Довжина кадра	L
		Довжина кадра	L
		START2	68h
Байт керування	C	Байт керування	C
Адреса об'єкта	A	Адреса об'єкта	A
Дані користувача		Дані користувача	
Контрольна сума	КС	Контрольна сума	КС
Кінець передачі END	16h	Кінець передачі END	16h

L - число байт даних користувача, до числа байт долучені байти керування C та адреса об'єкта A; КС – арифметична сума по модулю 256 всіх

Таблиця 3.2- Загальна структура блоку даних для користувачів

Зміст		Розмір поля в байтах
Ідентифікатор типу даних	Ідентифікатор блоку даних	1
Класифікатор змінної структури: SQ=0		1
Причина передачі		1
Загальна адреса об'єкта		1, 2
Адреса об'єкта №1	Об'єкт інформації №1	1, 2, 3
Елемент інформації		1, 2, 3, 4, 5
Час		0, 3, 7
Адреса об'єкта №2	Об'єкт інформації №2	1, 2, 3
Елемент інформації		1, 2, 3, 4, 5
Час		0, 3, 7
Адреса об'єкта №і	Об'єкт інформації №і	1, 2, 3
Елемент інформації		1, 2, 3, 4, 5
Час		0, 3, 7

Стандарт IEC 60870-5-101/104 включає в себе велику кількість аспектів щодо передачі інформації (обміну інформацією) на об'єктах енергетики. Тому в кваліфікаційній роботі приведені основні положення вказаного стандарту.

3.3 Програма мікроконтролера блоку телесигналізації

Програма призначена для організації опитування сигналів телесигналізації, виконання їх фільтрації з метою усунення брязкоту контактів та зберігання їх значень у внутрішніх змінних. Значення сигналів можуть бути вчитані по протоколу SEP (Strila Energy Protocol) або Modbus RTU.

Програма написана на мові C з використанням пакету прошивки для мікроконтролера STM32CubeF3 [26]. STM32Cube – це оригінальна ініціатива STM microelectronics, спрямована на спрощення життя розробників шляхом зменшення зусиль, часу та витрат. STM32Cube охоплює весь портфель продуктів STM32. Він включає комплексну вбудовану програмну платформу, що постачається для кожної серії (наприклад, STM32CubeF3 для серії STM32F3). Для написання програми з пакету прошивки використано:

- модулі CMSIS (ядро та пристрій), що відповідають ядру ARM, реалізованому в продукті STM32;
- драйвери STM32 HAL-LL – рівень драйверів абстракції. API, що забезпечує максимальну портативність у портфоліо STM32;
- узгоджений набір компонентів проміжного програмного забезпечення, таких як RTOS;

Структура програми є типовою для мікроконтролерів та умовно поділяється на дві частини: частина коду, який виконується один раз після ввімкнення (конфігурація внутрішніх регістрів та ініціалізація периферії) та частина коду, який виконується періодично (опитування, фільтрація, прийом-передача даних).

Виконання програми починається з виклику функції `HAL_Init()`. Ця функція налаштовує часові інтервали роботи із флеш-пам'яттю, джерело часової бази, NVIC та низькорівневе обладнання. Оскільки на старті мікроконтролер тактується від внутрішнього RC-генератора, то далі виконується налаштування тактування на генератор із зовнішнім кварцом, встановлюються множники та дільники помножувача частоти, вибирається джерело тактування для внутрішніх шин мікроконтролера. Далі створюється перша користувацька задача `_init_task(...)` та виконується запуск планувальника задач операційної системи RTOS викликом функції `vTaskStartScheduler()`.

Задача `_init_task(...)` призначена для опрацювання налаштувань, ініціалізації потрібних для роботи периферійних пристроїв, та створення інших задач відповідно до налаштувань. Виконання коду задачі починається з ініціалізації шини I²C викликом функції `MX_I2C2_Init()`. До цієї шини підключений розширювач портів типу PCA9555 із перемикачами, за допомогою яких можна задати параметри фільтру, номер та тип пристрою. Макросами `BOARD_INPUT_U_CTRL_ENABLE()` та `BOARD_OUTPUT_ALARM_ENABLE()` виконується ініціалізація портів вводу-виводу загального призначення PB4 та PB13 відповідно. Через вхід PB4 здійснюється контроль якості ізольованого живлення БТС. Вихід PB13 використовується для формування сигналу ALARM, що використовується

протоколом SEP. Цей сигнал активується при зміні будь якого із сигналів ТС та скидається після зчитування стану ТС.

Далі викликається функція `_lock_firmware()`, яка виконує перевірку на захист флеш-пам'яті від читання. Якщо при компіляції прошивки був визначений дефайн `SYSTEM_LOCK_FIRMWARE` та читання флеш-пам'яті не заборонено, то код функції встановить заборону на читання для захисту прошивки від копіювання. Виклик функції `watchdog_init(10000)` задіє незалежний апаратний сторожовий таймер із власним генератором тактування та створить задачу `RTOS_watchdog_monitor_task()` із найнижчим пріоритетом (`osPriorityIdle`), єдиною метою якої є періодичний виклик функції `HAL_IWDG_Refresh()` для скидання сторожового таймеру. Якщо протягом 10 секунд не буде жодного разу викликано `HAL_IWDG_Refresh()`, то “watchdog” виконає перезавантаження мікроконтролера та його програма почне виконуватись з початку.

Далі викликається функція `led_init()`, яка є частиною модуля `led.c`. Він відповідає за індикацію роботи БТС за допомогою 3-х світлодіодів та реалізує складну індикацію для кожного світлодіоду в вигляді набору шаблонів, назви яких відображають поведінку індикатора. Наприклад: `LED_PATTERN_COUNT`, `LED_PATTERN_ON`, `LED_PATTERN_OFF`, `LED_PATTERN_BLINK_SLOW`, `LED_PATTERN_TOGGLE_FAST`, `LED_PATTERN_TOGGLE_SECOND` тощо.

Для роботи модуля використовується апаратний таймер `TIM6` та `GPIO PB0`, `PB1` та `PB15`. Після ініціалізації модуля запускається індикація усіма світлодіодами функцією `led_set_pattern(LED_ID, LED_PATTERN_BLINK_VERY_FAST)`. Функція `dipswitch_init()` виконує налаштування розширювача портів `PCA9555`, а функція `_load_config()` зчитує значення входів `PCA9555`, які визначаються положенням перемикачів. Функція `sys_cfg_load()` зчитує налаштування, які зберігаються в флеш-пам'яті за визначеним для цього адресом. До цих налаштувань відносяться: адреса пристрою, параметри універсального асинхронного послідовного порту. Якщо прошивка мікроконтролера виконується вперше, тобто таких налаштувань не буде виявлено, то відбудеться виклик функцій `sys_cfg_restore()` та `sys_cfg_save()`, що відновить налаштування по

замовчуванню та збереже їх. Після зчитування положень перемикачів та налаштувань виконується запуск задачі одного з підтримуваних протоколів викликом відповідної функції: `_init_protocol_modbus()` або `_init_protocol_strila()`. На даному етапі задача `_init_task(...)` виконала усі необхідні підготування та більше не потребує виконання, а тому відправляється в режим сну функцією `vTaskSuspend()`.

Описаний алгоритм реалізований у файлах: `startup.c`, `watchdog.c`, `switches.c`, `led.c`, `sketch.c`. Ці файли приведенні в Додатках А-Д.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Основні задачі в галузі охорони праці

Створення нормальних і безпечних умов праці - одна із головних передумов її продуктивності. В процесі розвитку промисловості в Україні передбачено створення належних умов для ліквідації виробничого травматизму і захворюваності.

З метою подальшого поліпшення умов праці та усунення виявлених недоліків в галузі охорони праці і техніки безпеки на діючих підприємствах необхідно виділяти достатні кошти на забезпечення здорових умов праці, закупівлю спецодягу та технічних засобів, а також на підвищення технічних знань і виробничої кваліфікації працівників.

Охорона праці - це система законодавчих актів і відповідних їм соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [26, 27, 28, 29, 30].

Впровадження у виробничий процес організаційно-технічних заходів сприяє виключенню впливу на працівників несприятливих і небезпечних виробничих факторів, зменшення до допустимих нормативних значень впливу негативних і шкідливих виробничих факторів.

Охорона праці на сьогоднішній день передбачає вирішення таких основних завдань:

- навчання працівників безпечним умовам праці та роз'яснення питань в галузі охорони праці;
- забезпечення безпеки виробничих приміщень;
- забезпечення безпеки виробничого обладнання;
- забезпечення безпеки виробничих процесів;
- забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту;
- створення нормальних санітарно-гігієнічних умов;

- створення безпечних і комфортних умов праці та відпочинку для працівників;
- забезпечення санітарно-побутового обслуговування працівників.

На даний час в Україні розроблено необхідну базу для масового впровадження електричної енергії в усі галузі промисловості, завдяки чому промисловість та сільське господарство стали високо механізованими і електрифікованими. Наявність великої кількості електроустаткування на підприємстві може приводити до випадків виникнення електричного травматизму. Згідно статистичних даних щодо загальної кількості нещасних випадків на виробництві електротравми становлять від 0,5 до 1%, зі смертельними наслідками - від 20 до 40% (від 60 до 80% смертельних випадків припадають на ураження електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В). Біля 30 відсотків нещасних випадків припадає на порушення правил техніки безпеки, а понад 60 відсотків потерпілих складають працівники не електротехнічних професій [27].

Для виправлення описаного становища, відповідно до Закону України «Про охорону праці» [28], Кабінет Міністрів України затвердив Національну програму щодо поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. Основною метою цієї програми є створення державної системи управління охороною праці з метою сприяння при вирішенні питань правового, матеріально-технічного і організаційного забезпечення охорони праці.

Головні принципи законодавства з охорони праці базуються на положеннях, які закріплені в Конституції України, відповідних державні актах, постановах Кабінету Міністрів, галузевих правилах і інструкціях, наказах міністерств і відомств, а також інших нормативних акти з охорони праці [29].

Відповідно до «Кодексу Законів про працю» і закону «Про охорону праці» адміністрація підприємств, установ, організацій усіх форм власності повинна вжити необхідні обов'язкові заходи для поліпшення умов праці працівників, усунення небезпечних і шкідливих факторів, впроваджуючи механізацію і

автоматизацію виробничих процесів, знижуючи рівень запиленості і загазованості повітря, інтенсивності шуму, вібрації, шкідливого випромінювання [28].

4.2 Розрахунок пристрою блискавкозахисту підстанції

Блискавкозахист представляє собою комплекс захисних пристроїв, які призначені для забезпечення здоров'я людей, цілісності будівель та споруд, устаткування та матеріалів від можливих вибухів, пожежі і руйнування, що можуть виникнути при ударі блискавки [30].

Захист від направлених ударів блискавки виконується стрижневими громовідводами висотою $h < 150$ м, які розміщують окремо. Торцеві області зони захисту в цьому випадку визначаються в якості зон одиночних стрижневих блискавковідводів [31]. Висоту блискавковідводів приймаємо $h = 13$ м, а відстань між ними згідно плану становить $L = 15,3$ м.

Захисна зона одиночного стрижневого блискавковідводу висотою h є конструкцією з кругового конусу, вершина якого знаходиться на висоті $h_0 < h$. На рівні землі конструкція зони захисту утворює коло радіусом r_0 . На висоті h_x , де здійснюється захист будівлі, горизонтальний переріз зони захисту являє собою коло радіусом r_x . Загальні габаритні розміри захисної зони можна розрахувати відповідно за формулами [30]:

$$h_0 = 0,92 \cdot h, \quad (4.1)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \quad (4.2)$$

$$r_x = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right). \quad (4.3)$$

Внутрішні області захисної зони подвійного стрижневого блискавковідводу, якщо виконується умова $L \leq h$, будуть мати такі габаритні розміри:

$$h_c = h_0, \quad (4.4)$$

$$r_{cx} = r_x, \quad r_c = r_0, \quad (4.5)$$

де h_c - висота внутрішньої захисної зони, м;

r_c - радіус внутрішньої захисної зони на рівні землі, м;

r_{cx} - радіус внутрішньої захисної зони на висоті об'єкта, для якого виконується захист, м.

Висота трансформатора в нашому проєкті $h_c = 5,2$ м. Згідно з формулами (4.1 - 4.5) виконаємо розрахунок габаритних розмірів нашого блискавкозахисту. В результаті отримаємо:

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 13 = 11,96 \text{ м},$$

$$r_0 = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 13 = 19,5 \text{ м},$$

$$r_x = r_{cx} = 1,5 \cdot \left(13 - \frac{5,2}{0,92} \right) = 11 \text{ м}.$$

На рис. 4.1 приведено результати розрахунку і побудови зони захисної зони. Бачимо, що все обладнання попадає в захисну зону встановлених блискавковідводів.

4.3 Розрахунок заземлюючих пристроїв

Захисне заземлення – це заземлення частин електричної установки з метою забезпечення електричної безпеки. Головне призначення захисного заземлення полягає у забезпеченні між корпусами обладнання, яке захищається, і землею електричного з'єднання з дуже малим опором для зниження до безпечного значення рівня напруги дотику під час замикання на корпус цього електрообладнання [30].

Згідно «Правил улаштування електроустановок» в електроустановках напругою від 6 до 35 кВ з ізолюваною нейтраллю постійний опір заземлюючого повинен становити не більше:

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3} \leq 4 \text{ Ом}, \quad (4.6)$$

де I_3 – розрахунковий струм замикання на землю, який можна визначити за довжиною електрично зв'язаних кабельних ліній (l_k), повітряних ліній (l_n) і напруги мережі ($U_{ном}$):

$$I_3 = \frac{U_{ном} \cdot l_n}{350}. \quad (4.7)$$

Визначимо розрахунковий струм в мережі:

$$I_3 = \frac{35 \cdot 10,2}{350} = 1,2 \text{ A}.$$

Підставимо значення розрахунковий струму в формулу (4.6) і отримаємо:

$$R_3 = \frac{250}{1,2} = 245 \text{ Ом}.$$

З отриманого результату бачимо, що умова (4.6) не виконується, тому на підстанції потрібно застосувати контурне заземлення.

Використовуючи еквівалентний опір ґрунту, розрахуємо опір вертикальних і горизонтальних елементів складного заземлювача, які потрібно розмістити в землі з неоднорідною електричною структурою. Еквівалентний питомий опір ґрунту для сітчастих електродів відповідно до [30] приймаємо рівним $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Опір заземлювача підстанції буде виконано у вигляді сітки, у якій відстань між стрижнями в два рази більша за їх довжину і складається з вертикальних електродів, об'єднаних горизонтальними смугами, можна розрахувати за емпіричною формулою [26]:

$$R = \rho \cdot \left(\frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + n \cdot l} \right), \quad (4.8)$$

де A – коефіцієнт, який обчислюється за значенням $\frac{1}{\sqrt{S}}$;

S – площа, яку займає заземлювач, м^2 ;

l – довжина електрода, м ;

n – кількість електродів.

Довжину електродів приймаємо рівною 3 м, тоді загальну кількість

електродів можна визначити за формулою з [26]:

$$n = \frac{L}{3}. \quad (4.9)$$

$$n = \frac{27}{3} = 9.$$

Приймаємо до встановлення 9 електродів.

Дальше визначимо коефіцієнт А:

$$\frac{1}{\sqrt{S}} = \frac{3}{\sqrt{27 \cdot 27}} = 0,11 \text{ м}^2.$$

Згідно [58] для $1/\sqrt{S} = 0,11 \text{ м}^2$ $A = 0,37$.

Тоді за формулою (4.8) визначаємо опір заземлювача:

$$R = 50 \cdot \left(\frac{0,37}{\sqrt{27 \cdot 27}} + \frac{1}{27 + 9 \cdot 3} \right) = 1,61 \text{ Ом}.$$

Бачимо, що умова (4.6) виконується.

Все обладнання на підстанції встановлено на бетонних фундаментах, який є доволі якісним заземлювачем [26]. Розраховані вище 8 заземлювачів розміщуємо по контуру підстанції, чотири з них з'єднуємо з заземлюючими смугами, до яких приєднуємо електричне обладнання. Дев'ятий заземлювач встановлюємо на перетині цих смуг, відповідно грозозахисний опір підстанції буде меншим розрахованого значення 1,16 Ом, що дозволить підвищити безпеку персоналу підстанції та забезпечити надійність її обладнання. Розташування заземлювачів приведено на рис. 4.1.

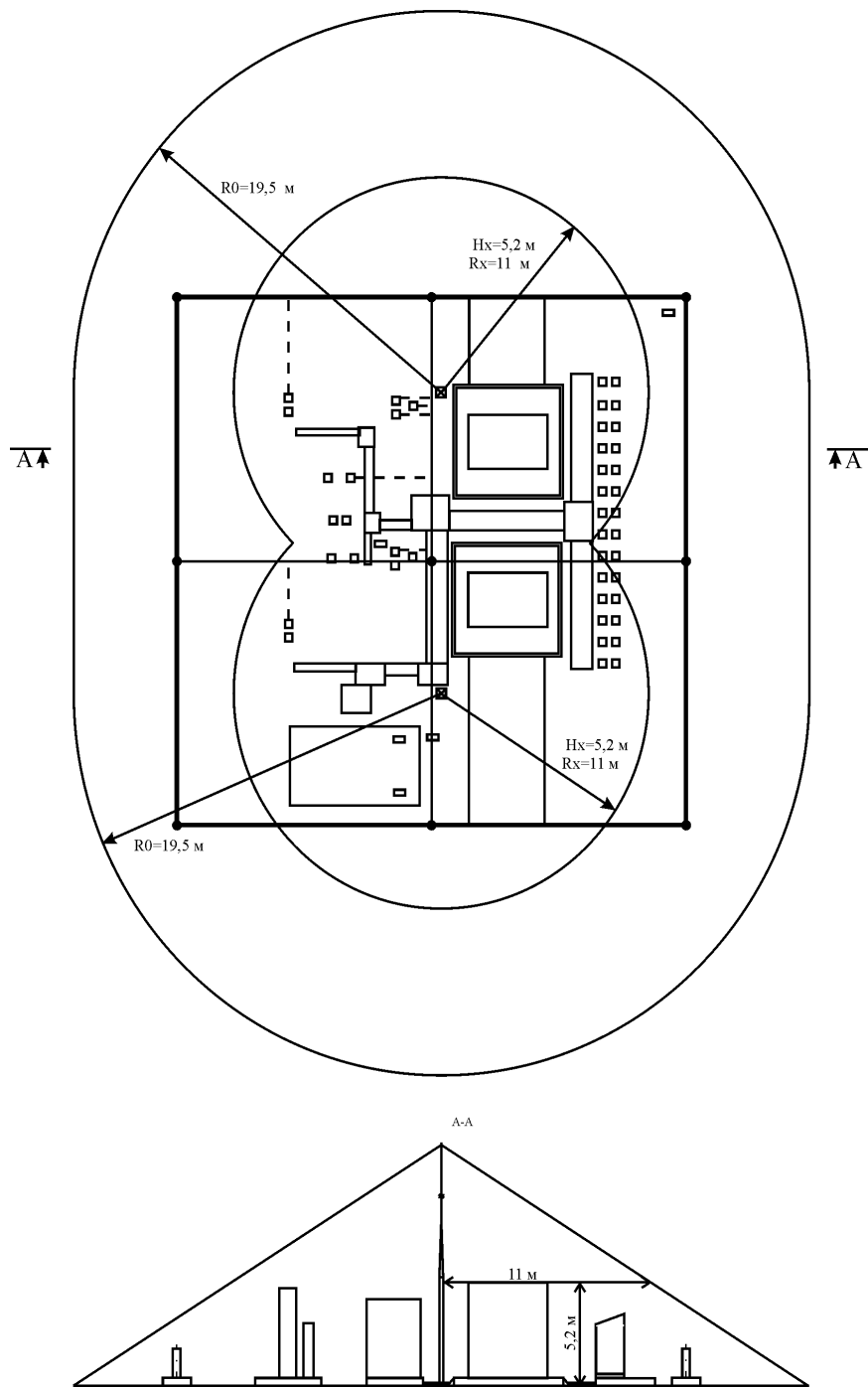


Рисунок 4.1 – Розташування заземлення та громовідводів

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі в результаті дослідження та аналізу ринку обладнання систем телемеханіки для дистанційного керування об'єктами енергетики на контрольованих пунктах було запропоновано технічне рішення побудови системи телемеханіки керування трансформаторною підстанцією районних електромереж для сільських РЕМ.

2 В роботі проаналізовані принципи керування обладнанням трансформаторні підстанції районних електромереж для сільських РЕМ та розроблені технічні вимоги до розробки обладнання телемеханіки для керування технологічними процесами трансформаторній підстанції.

3. В роботі згідно проведеного аналізу обладнання телемеханіки, яке присутнє на ринку України, запропоновано обладнання Тернопільського підприємства ТКБР «Стріла». На користь цього вибору вказує те що:

а) обладнання телемеханіки ТКБР «Стріла» широко використовується в різних обленерго України та має гарний показник цін/якість;

б) обладнання повністю відповідає вимогам міжнародним стандартам до обладнання телемеханіки енергетичних об'єктів;

в) обладнання допускає інтегрування в себе обладнання телемеханіки інших фірм, яке відповідає прийнятим вимогам міжнародних стандартів до обладнання телемеханіки енергетичних об'єктів;

г) обладнання телемеханіки ТКБР «Стріла» без суттєвих проблем може інтегруватись в інші системи керування енергетичними об'єктами, які відповідають прийнятим вимогам міжнародних стандартів

4. В кваліфікаційній роботі, згідно проведеного аналізу обґрунтований вибір протоколу передачі даних стандарту IEC 60870-5-101 для зв'язку обладнання телемеханіки трансформаторної підстанції з обладнання диспетчерського пункту керування та внутріоб'єстовому протоколу передачі даних стандарту MODBUS (MODBUS-RTU). На користь цього вибору вказує те що протокол передачі даних стандарту IEC 60870-5-101 повністю відповідає вимогам передачі даних по сімлексному вузькосмуговому радіоканалах зв'язку. Використання протоколу передачі даних стандарту MODBUS (MODBUS-RTU) дозволяє інтегрувати будь яке обладнання телемеханіки, яке підтримує вказаний протокол, в обладнання керування телемеханікою на трансформаторній підстанції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Півняк Г.Г., Жежеленко І.В., Папаїка Ю.А. Енергетична ефективність систем електропостачання: монографія. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
2. 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.
3. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / [Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 163 с. ISBN 978-966-402-076-0.
4. Рубаненко О.Є. Релейний захист та автоматика електричних станцій: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Рубаненко О.Є., Рубаненко О.О., Гунько І.О. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 1251с.
5. Праховник А. В. Побудова автоматизованих систем обліку електроенергії для енергетичних об'єктів / А.В. Праховник, В.П. Калинчик, О.В. Дегтярьов // Новини енергетики. – 2007. – №5. – С.55-58.
6. Компоненти автоматики і телемеханіки [Електронний ресурс] // Електро-світ. – Режим доступу: <http://www.es.ua>. – Назва з екрана.
7. Праховник А. В. Сучасні принципи побудови АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та АСКОЕ споживачів в умовах енергоринку України /А. В. Праховник, О. В. Коцар // Енергетика та електрифікація. – 2006.– № 4. – С. 2–7.
8. Бараннік В.О. Стан та проблеми запровадження нової моделі функціонування електроенергетичного ринку України. Національний Інститут стратегічних досліджень. Дніпропетровськ, 2015. № 22. URL:

<https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/stan-ta-problemi-zaprovadzhennya-novoi-modeli-unkcionuvannya>

9. Status on the First IEC 60870 Based Protection and Control, Multi-Vendor Project in the United States / The Grid Modernization Journal, №8, 2007
10. Промислові мережі: теорія і практика застосування протоколів та інтерфейсів: навч. посібник / І. Г. Лисаченко [та ін.]; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. - Харків : Підручник НТУ “ХПІ”, 2016. - 176 с.
11. Modbus Technical Resources [Electronic resource] / /Modbus – Access mode: <https://modbus.org/tech.php>
12. Сегеда М.С., Гапанович В.Г., Олійник В.П., Покровський К.Б. Проектування структурних схем електростанцій і підстанцій. Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010 Р.
13. Білоус Б.П. Засоби зв’язку диспетчерського і технологічного управління енергосистем. - К.: Енергія, 2008.
14. Автоматизація диспетчерського управління в електроенергетиці / Під ред. Ю.М. Руденко, В.А. Семенова. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2012 р.
15. Правила улаштування електроустановок. – 5-те видання, переробл. й доповн. – Харків: Видавництво «Форт», 2014. – 800 с.
16. Оробчук Б., Терновий В. Підвищення надійності роботи силового обладнання підстанцій. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.
17. Комплекс дистанційного керування технологічними процесами «Стріла-М» на основі ПЕОМ. Технічний опис та інструкція з експлуатації.– Тернопіль, 2010 р.
18. Оробчук Б.Я., Євтух П.С., Рафалюк О.О. Радіомодемна автоматизовна система диспетчерського керування в системах електропостачання. Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах». – Луцьк, 30 червня - 2 липня 2008 р. - С. 65-69

19. Оробчук Б.Я., Євтух П.С., Рафалюк О.О., Піскун С.О. Інноваційні технології диспетчерського керування електропостачанням районних електромереж. Наукове видання «Соціально-економічні проблеми і держава». – Терно-піль, 2011. Випуск 2 (5). – С. 72-77
20. Оробчук Б.Я. Лабораторний практикум з дисципліни «Системи управління електропостачанням» для студентів спеціальності 141- «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ Б.Я. Оробчук – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 105с. Адреса розміщення: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/42630/1/Лабораторні_СУЕ.pdf
21. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навч. посібник / Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. – К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552 с.
22. Оробчук Б.Я., Рафалюк О.О., Бабюк С.М. Використання каналів радіозв'язку в системах диспетчерського керування електропостачанням. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2009. №3, частина 1. – С. 131-134
23. ДСТУ ІЕС 60870-5-104:2014 Пристрої та системи телемеханіки. Частина 5-104. Протоколи передавання. Доступ до мережі згідно з ІЕС 60870-5-101 із використанням стандартних профілів передавання даних
24. Orobchuk B., Kozak K., Zahorodna N. Implementation of digital substations into the educational process based on real-time training complexes // International Workshop on the Usage of Artificial Intelligence and Robotics in Environment and Health December 13, 2024, İskenderun / Hatay / TURKEY
25. Оробчук Б.Я. Конспект лекцій з дисципліни «Системи управління електропостачанням». - м. Тернопіль: Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018 р., 112 с.
26. Корпус мікроконтролера STM32Cube для серії STM32F3. URL: <https://www.st.com/en/embedded-software/stm32cubef3.html>
27. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с.

28. Закон України «Про охорону праці». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/>
29. Закон України “Про захист людини від надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження”, ВРУ, № 1809 – 111. – К., 2000.
30. Серіков Я.О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. - Харків, ХНАМГ, 2007. - 227 с.
31. Пуляєв В.І., Усачов Ю.В. Цифрові реєстратори аварійних подій енергосистем. Бібліотечка електротехніка. Вип. 6(9). - К.: Енергетик, 2009.
32. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
33. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
34. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
35. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
36. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>

37. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
38. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь, В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
39. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур, Г.В. Козбур, Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>
40. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур, Г.В. Козбур, Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>
41. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь, В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>
42. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь, В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>

43. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
44. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>
45. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
46. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
47. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
48. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
49. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
50. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

51. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
52. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>
53. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>