

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Методичні вказівки до практичних занять

СУМИ - 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Методичні вказівки до практичних занять
для ЗВО 1м курсу
спеціальності G3 «Електрична інженерія»
денної і заочної форм навчання
освітнього ступеня «Магістр»

СУМИ - 2026

УДК 378

Т 31

Укладачі: **Кравченко В.О.**, к.ф.-м.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем,

Мороз К.В., завідувач навчальної лабораторії кафедри енергетики та електротехнічних систем,

Лисенко В.В., завідувач навчально-методичним кабінетом.

Т 31 Телемеханіка і АСУ систем електропостачання: Методичні вказівки до самостійної роботи / укл.: Кравченко В.О., Мороз К.В., Лисенко В.В. - Суми, 2026. – 68 с.

У методичних вказівках надано інформацію для підготовки до практичних занять та завдання для виконання здобувачами. Вказівки розроблені для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності G3 «Електрична інженерія»

Рецензенти:

Барсукова Г.В., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Хурсенко С.М., к.ф.-м.н., доцент кафедри вищої математики та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Юрченко О.Ю., PhD, в.о. зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету

Протокол №6 від «14» травня 2026 року

ЗМІСТ

Тема 1. Телемеханіка і АСУ в управлінні виробничими процесами.....	6
Тема 2. Системи телемеханіки в електроенергетиці.....	10
Тема 3. Повідомлення та сигнали в системах телемеханіки.....	14
Тема 4. Елементи систем телемеханіки.....	20
Тема 5. Передавання сигналів у телемеханічних системах	25
Тема 6. Автоматизовані системи управління технологічними процесами.....	33
Тема 7. Види забезпечення АСУ ТП.....	36
Тема 8. Принципи побудови АСУ ТП на основі телемеханічних систем.....	45
Тема 9. Елементи оперативно-інформаційного комплексу АСУ ТП...	48
Тема 10. АСУ ТП в системах електропостачання.....	55
Список джерел.....	65

Тема 1. Телемеханіка і АСУ в управлінні виробничими процесами

Мета заняття: сформувати у студентів системні знання про принципи побудови, базові функції та завдання телемеханіки і АСУ, розкрити їх роль у забезпеченні надійності та оперативності управління процесами в електроенергетиці.

Короткі теоретичні відомості

1. Основні поняття телемеханіки

Телемеханіка – це галузь науки і техніки, що охоплює теорію та методи передавання сигналів управління (команд) та інформації про стан об'єкта на великій відстані.

Основними складовими телемеханічної системи є:

- об'єкт керування;
- первинні перетворювачі (датчики);
- канали зв'язку;
- пункт керування (диспетчерський пункт);
- виконавчі механізми.

Розрізняють такі основні види телемеханічних сигналів:

Телевимірювання (ТВ) – дистанційна передача значень параметрів системи або процесу (напруга, струм, температура).

Телесигналізація (ТС) – передавання даних про стан об'єкта (увімкнено/вимкнено, аварія).

Телекерування (ТК) - передавання команд для зміни стану об'єкта.

Телерегулювання (ТР) – дистанційна зміна уставок автоматичних регуляторів.

АСУ (автоматизована система управління) – це система, в якій процес керування здійснюється за участю людини з використанням обчислювальної техніки та засобів автоматизації.

2. Функції телемеханіки

Системи телемеханіки виконують три основні групи функцій:

1. Функції транспортування даних. Вони забезпечують збір даних від первинних датчиків та перетворювачів, кодування, модуляцію та передавання даних через канали зв'язку.

2. Функції оперативного оброблення та відображення включають первинну фільтрацію сигналів, перетворення кодів у фізичні величини, перевірку на вихід за межі допустимих значень та візуалізацію на моніторах (диспетчерських щитах) у вигляді мнемосхем.

3. Функції користувача. Використання інтерфейсу для взаємодії з оператором (НМІ), ведення архівів, формування звітів, протоколювання подій та забезпечення авторизації і розмежування прав доступу користувачів.

Основна мета впровадження систем телемеханіки – підвищення ефективності та надійності роботи технологічного комплексу та забезпечення оперативного отримання інформації про аварії в режимі реального часу, оптимізації режимів роботи обладнання, безпеки та збору даних для планування ремонтів та модернізації.

3. Тенденції розвитку телемеханіки і АСУ

1. Перехід до цифрових систем передачі даних;
2. Використання промислових мереж (Ethernet, Modbus, Profibus);
3. Інтеграція з SCADA-системами;
4. Застосування мікропроцесорної техніки;
5. Впровадження IoT (інтернету речей);
6. Підвищення рівня автоматизації та автономності;
7. Використання хмарних технологій і аналітики даних.

У системах електропостачання телемеханіка та АСУ застосовуються для дистанційного керування підстанціями; контролю параметрів електромережі (напруга, струм, потужність); виявлення аварійних режимів; автоматичного відключення пошкоджених ділянок; диспетчерського керування енергосистемою в цілому.

Використання телемеханіки дозволяє підвищити надійність електропостачання, скоротити час ліквідації аварій, зменшити експлуатаційні витрати.

Телемеханіка є базою для створення і впровадження **SCADA-систем**. Вона дозволяє диспетчеру дистанційно керувати роз'єднувачами та вимикачами на підстанціях, контролювати перетоки потужності та показники якості електроенергії.

Практичні завдання

Завдання 1. За поданим описом визначити елементи телемеханічної системи: «Датчик тиску передає сигнал на диспетчерський пункт, де оператор аналізує дані і подає команду на відкриття клапана». Потрібно вказати:

- об'єкт керування;
- первинний перетворювач;
- канал зв'язку;
- пункт керування;
- виконавчий механізм.

Завдання 2. На підстанції спрацював захист, в результаті чого вимикач 10 кВ відключився. Диспетчер побачив миготіння символу на моніторі та почув звуковий сигнал. Які функції телемеханіки були задіяні в цьому процесі? Класифікуйте сигнал (ТВ, ТС чи ТК).

Завдання 3. Система телевимірювання використовує 8-бітне кодування для передачі значення струму в діапазоні від 0 до 400 А. Яка дискретність (крок) вимірювання цієї системи? Чи достатньо такої точності для оперативного управління?

Завдання 4

Розглянути підстанцію як об'єкт керування і визначити:

- які параметри передаються диспетчеру;
- які команди можуть надходити;
- які аварійні сигнали можливі.

Завдання 5. Складіть перелік із 5-6 основних параметрів підстанції, які мають передаватися по каналах телемеханіки для забезпечення надійної роботи системи електропостачання підприємства.

Завдання 6. Пояснити, які переваги дає використання цифрових систем у порівнянні з аналоговими.

Завдання 7. Навести приклади використання телемеханіки або АСУ в різних сферах (у промисловості, в енергетиці, у побуті). Коротко описати принцип роботи відповідних систем.

Тема 2. Системи телемеханіки в електроенергетиці

Мета заняття: вивчити класифікацію, типові структури та функціональні блоки систем телемеханіки, а також опанувати особливості побудови пунктів управління, контрольних пунктів і каналів зв'язку в електричних мережах.

Короткі теоретичні відомості

1. Класифікація систем телемеханіки

За основними ознаками систем ТМ їх поділяють на групи:

- **За способом передачі** – радіальні (один ПУ – багато КП), ланцюгові (магістральні) та вузлові.
- **За функціональним призначенням** – системи телесигналізації, телеуправління (телекерування), телевимірювання та комбіновані.
- **За структурою** – централізовані, децентралізовані, розподілені
- **За способом передавання інформації** – аналогові та цифрові.
- **За типом каналів:** дротові, радіоканальні, з ВЧ-зв'язком по ЛЕП, GSM/GPRS, оптоволоконні, комбіновані.

2. Типові структури систем ТМ

Типова система телемеханіки включає:

- пункт управління ПУ;
- контрольні пункти КП;
- канали зв'язку;
- пристрої збору та передавання інформації.

Централізована структура передбачає наявність одного диспетчерського пункту, який керує всіма об'єктами.

У **розподіленій структурі** частина функцій керування виконується локально на контрольних пунктах.

Пункт управління – це центральний елемент системи телемеханіки, де здійснюються приймання інформації, відображення параметрів, аналіз стану системи, формування команд керування.

Оператор з ПУ контролює стан обладнання та приймає рішення щодо режимів роботи системи.

Контрольний пункт – це віддалений об'єкт, на якому виконується збір інформації, передавання даних, приймання команд керування.

Основні типи структур систем ТМ:

- **Радіальна (Point-to-Point).** ПУ з'єднаний окремим каналом з кожним КП. Висока надійність, але велика кількість каналів.
- **Магістральна (Bus).** Всі КП підключені до одного спільного каналу. Економія ресурсів, але при розриві магістралі втрачається зв'язок з частиною мережі.
- **Вузлова.** Складна ієрархічна структура з проміжними пунктами збору та ретрансляції даних.

3. Функціональні блоки систем телемеханіки

1. **Датчики (первинні перетворювачі).** Перетворюють фізичні величини в уніфікований електричний сигнал.
2. **Кодувальні пристрої.** Перетворюють сигнал у цифровий код для передачі.
3. **Модеми/Трансивери.** Узгоджують сигнал з фізичним середовищем каналу зв'язку.
4. **Декодери та пристрої відображення.** Слугують для відновлення даних та виводу їх на екран на пункті управління.

4. Особливості ТМ електричних мереж

- **Територіальна розсередженість:** об'єкти (підстанції) знаходяться на великій відстані один від одного.
- **Високий рівень завад:** сильні електромагнітні поля вимагають спеціального захисту апаратури та каналів.
- **робота в режимі реального часу:** критично важлива швидкість передачі сигналів аварійного відключення (мілісекунди).
- **Неперервний режим роботи.**
- **Значна кількість контрольованих параметрів.**

5. Канали зв'язку

Канали зв'язку забезпечують обмін інформацією між елементами системи. У телемеханіці застосовуються:

- кабельні лінії;
- оптоволоконні лінії;
- радіоканали;
- мобільні мережі;
- супутниковий зв'язок.

В електроенергетиці використовуються також ВЧ-зв'язок по ЛЕП з передачею сигналів безпосередньо по фазних проводах високої напруги через загороджувачі та радіорелейний зв'язок.

6. Пристрої телемеханіки

Пристрої телемеханіки призначені для збору даних, перетворення сигналів, передавання інформації, приймання команд та керування обладнанням.

Основними пристроями ТМ є:

- телемеханічні контролери;
- модеми;
- блоки введення-виведення;
- пристрої релейного захисту;
- RTU (Remote Terminal Unit).

Сучасні пристрої мають мікропроцесорне керування та підтримують цифрові протоколи обміну даними. Широко використовуються телекомплекси (наприклад, ТМ-120, "Граніт", сучасні контролери Siemens/ABB), які виконуються у вигляді спеціалізованих шаф з вбудованими модулями вводу-виводу, процесорними платами та блоками живлення.

Практичні завдання

Завдання 1. Необхідно організувати зв'язок з 5 підстанціями, що розташовані вздовж однієї лінії електропередачі 110 кВ довжиною 80 км. Запропонуйте оптимальну структуру мережі телемеханіки (радіальну чи магістральну). Обґрунтуйте вибір, враховуючи витрати на кабелі та надійність.

Завдання 2. Накресліть спрощену структурну схему передачі сигналу від трансформатора струму (на підстанції) до монітора диспетчера (на ПУ). Підпишіть кожен блок (Датчик -> АЦП -> Передавач -> Канал -> Приймач -> Декодер -> Екран).

Завдання 3. Канал зв'язку має швидкість 1200 біт/с. Один пакет телесигналізації (стан вимикачів) займає 40 біт. Скільки таких пакетів можна передати за 1 секунду? Чи достатньо такої швидкості для передачі відеоспостереження з об'єкта (яке потребує ~2 Мбіт/с)?

Завдання 4. Навести приклади контрольних пунктів у системах електропостачання та вказати:

- які параметри на них контролюються;
- які команди можуть передаватися.

Завдання 5.

Порівняти дротові та бездротові канали зв'язку за такими параметрами: надійність; вартість; швидкість передавання; завадостійкість.

Завдання 6. На підстанції 35 кВ встановлено нове обладнання телемеханіки, але при ввімкненні потужних силових ліній дані починають передаватися з помилками або зв'язок зникає. Назвіть 2-3 можливі причини проблеми, пов'язані з особливостями електричних мереж та запропонуйте способи встановлення причини. Які заходи допоможуть виправити ситуацію?

Тема 3. Повідомлення та сигнали в системах телемеханіки

Мета заняття: засвоїти теоретичні основи передавання інформації в телемеханічних комплексах, ознайомитися з фізичними характеристиками та видами сигналів, встановити основні причини виникнення похибок, спотворень сигналу та методи підвищення завадостійкості каналів зв'язку.

Короткі теоретичні відомості

1. Телемеханічні повідомлення та сигнали

Телемеханічне повідомлення – це інформація про стан об'єкта, яка передається каналами зв'язку від контрольного пункту до пункту управління або у зворотному напрямку.

Повідомлення можуть містити:

- результати вимірювань;
- сигнали стану обладнання;
- аварійні повідомлення;
- команди керування.

У системах телемеханіки повідомлення перетворюються у сигнали, придатні для передавання каналами зв'язку.

Сигнал – це фізичний процес (електричний струм, напруга, електромагнітна хвиля), що несе в собі повідомлення.

Параметр сигналу – це характеристика, яка змінюється залежно від повідомлення (амплітуда, частота, фаза, тривалість імпульсу).

2. Фізичні характеристики та види сигналів

Основні характеристики сигналів, які використовуються для передачі повідомлень:

- амплітуда;
- частота;
- фаза;
- тривалість;
- форма сигналу.

Основні види сигналів

За **способом подання** інформації:

- аналогові;
- дискретні;
- цифрові.

За **формою**:

- синусоїдальні;
- імпульсні;
- прямокутні;
- пилкоподібні.

За **характером зміни**:

- безперервні;
- періодичні;
- випадкові.

У сучасних системах переважають цифрові сигнали завдяки їх високій завадостійкості.

3. Частотні спектри сигналів

Будь-який складний сигнал можна подати у вигляді сукупності гармонічних складових різних частот.

Сукупність цих частот називається **спектром сигналу**.

Ширина спектру (мінімально необхідний достатньо точної для передачі сигналу набір частот) визначає:

- необхідну смугу пропускання каналу;
- швидкість передавання інформації;
- рівень спотворень.

Імпульсні сигнали зазвичай мають широкий спектр частот. Канал зв'язку повинен мати пропускну здатність, яка відповідає спектру сигналу, інакше сигнал буде спотворений.

4. Похибки телевимірювань

Похибки ТВ характеризують міру невідповідності показів вимірювального приладу дійсному значенню вимірювальної величини.

Клас точності каналу телевимірювань визначають відносною похибкою у відсотках $\delta\%$ за номінальних умов роботи всіх складових системи ТВ. Згідно стандарту встановлено 7 класів точності каналів зв'язку телевимірювання: 0,15; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5.

Додаткова похибка обумовлена впливом зовнішніх факторів – температури та вологості навколишнього середовища, зміною струму і напруги, частоти у мережі. Додаткову похибку вказують у вигляді зведених похибок, віднесених до діапазону зміни збурення, що викликають цю похибку.

Додаткова похибка, згідно стандарту, не повинна перевищувати основну. Тому у технічних умовах вказують допустимі межі зміни зовнішніх умов.

Вимірний параметр в процесі проходження через ланки системи телевимірювання підлягає перетворенню, кожне з яких призводить до виникнення власної похибки:

- 1) похибка трансформаторів струму та напруги – $\delta_{\text{ТР}}$;
- 2) похибка датчика – $\delta_{\text{Д}}$;
- 3) похибка передавального пристрою ТВ (датчик-канал зв'язку) – $\delta_{\text{ПД}}$;
- 4) похибка каналу зв'язку, що містить похибку від завад – $\delta_{\text{КЗ}}$;
- 5) похибка приймального пристрою (канал зв'язку-пристрій оброблення) – $\delta_{\text{ПР}}$;
- 6) похибка оброблення (наприклад, осереднення) – $\delta_{\text{ОБ}}$;
- 7) похибка вимірювального приладу – $\delta_{\text{ВП}}$.

5. Спотворення та завадостійкість

Завадостійкість – це здатність сигналу зберігати закладену інформацію, незважаючи на дію завад.

Завадостійкість характеризують ймовірністю вірного прийому елементарного дискретного сигналу ("0" чи "1") при певному рівні завад.

Наявність в каналах ТМ спотворень та завад призводить до невідповідності та зміни тривалості значущого інтервалу, а також до зміни знаку всередині інтервалу. У відповідності з цим, спотворення значущих інтервалів розділяють на крайові спотворення та дроблення.

Крайовим спотворенням називають невідповідність значущих моментів та значущих інтервалів ідеальним значущим моментам та інтервалам, що призводить до відхилення тривалості прийнятих значущих інтервалів відносно переданих. Зміна моментів появи фронтів імпульсів приводить до того, що імпульс стає коротшим або довшим.

Дробленням називають одно- або багаторазову зміну значущої позиції всередині значущого інтервалу. Результатом є поява хибних коротких імпульсів всередині корисної посилки або "розрив" цілого імпульсу через короткочасну заваду.

6. Види завад

За характером завади поділяють на імпульсні, флуктуаційні, від промислової частоти та її гармонік.

1) **Імпульсні завади** мають вигляд послідовності імпульсів довільної форми з випадковими амплітудами. Проміжки t між сусідніми імпульсами настільки значні, що перехідний процес у каналі зв'язку від попереднього імпульсу загасає до появи наступного.

Тривалість нестаціонарних процесів τ у телеметричних системах обернено пропорційна смузі пропускання ΔF :

$$\tau = \frac{k}{\Delta F} .$$

Характер завад визначають шириною смуги пропускання ΔF системи зв'язку (тривалістю нестаціонарного процесу системи). Залежно від цього, завади, створені одними джерелами можуть бути імпульсними або флуктуаційними.

Джерела імпульсних завад – атмосферні розряди, електрозварювання, комутаційні перемикання в мережі тощо.

2) Флуктуаційними завадами є такі, за яких крива напруги завад є безперервною в часі t випадковою величиною з необмеженим спектром частот (так званий "білий шум").

"Білий шум" характеризують нормальним законом розподілу миттєвих значень напруги завад u_3 :

$$\omega(u_3) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{3.ck}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u_3}{U_{3.ck}}\right)^2}$$

де $U_{3.ck}$ – середньоквадратична напруга завад.

Практичні завдання

Завдання 1. Навести приклади можливих телемеханічних повідомлень для різних об'єктів керування: підстанції, насосної станції, системи освітлення.

Завдання 2. Для заданих сигналів (рис. 3.10) визначити їх характеристики:

- амплітуду;
- частоту;
- тривалість;
- форму.

Вкажіть також вид кожного сигналу.

Завдання 3. Вимірюється рівень напруги в мережі в діапазоні від 180 до 250 В. Використовується 7-бітний АЦП ($2^7 = 128$ рівнів). Розрахуйте ціну поділки (дискретність) вимірювання. Чи зможе така система зафіксувати зміну напруги на 0,2 В?

Завдання 4. Намалюйте ідеальну послідовність прямокутних імпульсів "101". Поруч намалюйте ту саму послідовність, але:

1. З крайовими спотвореннями (фронти "завалені" або зміщені).

2. З дробленням (посередині другої одиниці з'явився короткий "провал" до нуля).

До яких наслідків це призведе при зчитуванні даних контролером?

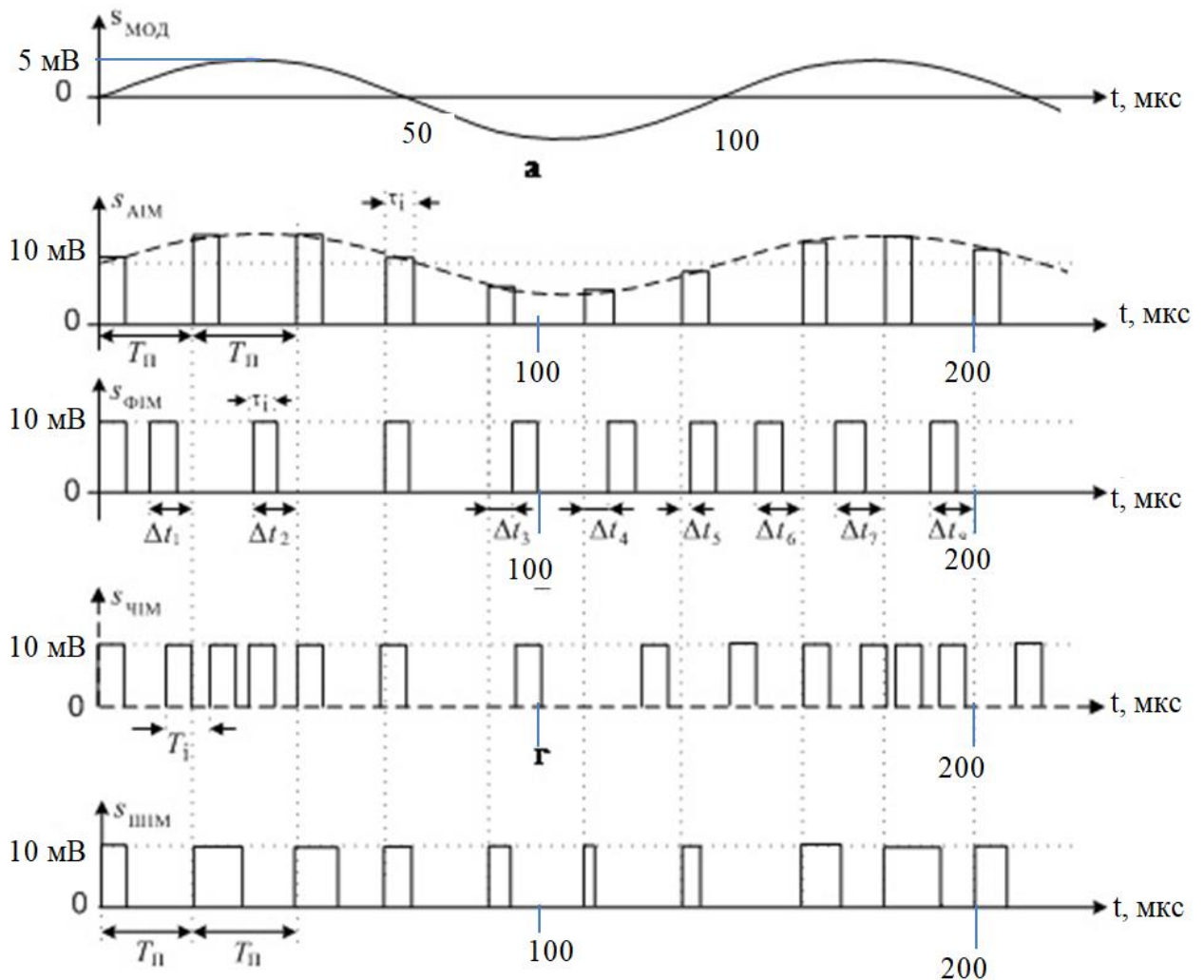


Рисунок 3.1 - Визначення параметрів сигналів (до завдання 2)

Завдання 5. Потрібно передати дані по дуже зашумленому каналу (поруч працюють потужні двигуни). Який вид модуляції краще обрати: амплітудну (АМ) чи частотну (ЧМ)? Обґрунтуйте свою відповідь.

Завдання 6. Пояснити і обґрунтувати застосування методів підвищення завадостійкості сигналів.

Тема 4. Елементи систем телемеханіки

Мета заняття: вивчити класифікацію, принцип дії та схемотехнічні особливості базових елементів телемеханіки, зокрема, цифрових логічних пристроїв, комутаторів, перетворювачів інформації та мікропроцесорних контролерів, що використовуються для збору й обробки технологічних даних.

Короткі теоретичні відомості

1. Класифікація елементів телемеханіки

Елементи систем телемеханіки призначені для збору, обробки, передавання та приймання інформації. За функціональним призначенням їх поділяють на:

- вимірювальні - призначені для сприйняття, підсилення та порівняння фізичних величин;
- інформаційні (логічні та цифрові) – для обробки, кодування, зберігання та перетворення дискретних сигналів;
- комутаційні – для перемикання ліній та каналів зв'язку;
- перетворювальні (АПБ, ЦАП, шифратори, дешифратори);
- обчислювальні (програмовані логічні контролери);
- виконавчі – для формування вихідних команд керування.

Сучасні системи телемеханіки переважно будуються на цифрових та мікропроцесорних елементах, виконаних у вигляді інтегральних мікросхем.

Інтегральна мікросхема (ІМС) — це мікроелектронний пристрій, у якому велика кількість елементів розміщена на одному кристалі.

Перевагами ІМС є малі розміри, висока швидкодія, надійність, низьке енергоспоживання. У телемеханіці інтегральні мікросхеми використовують у контролерах, модулях зв'язку, логічних схемах, пристроях обробки сигналів.

2. Функціональні вузли цифрової схемотехніки

Логічні елементи реалізують базові функції булевої алгебри: **І** (кон'юнкція), **АБО** (диз'юнкція), **НЕ** (інверсія), а також їх комбінації (**І-НЕ**, **АБО-НЕ**).

Тригери – найпростіші послідовнісні схеми, здатні зберігати 1 біт інформації (мають два стійких стани). Використовуються як основа для елементів пам'яті.

Шифратори (Encoder) перетворюють сигнал з одного активного входу у паралельний двійковий код.

Дешифратори (Decoder): виконують зворотню дію — перетворюють вхідний двійковий код в активний сигнал на одному конкретному виході (використовуються для вибору об'єктів ТК).

Лічильники: підраховують кількість вхідних імпульсів (наприклад, для обліку електроенергії чи імпульсів синхронізації).

Регістри: вузли для тимчасового зберігання багаторозрядних двійкових даних та їхнього зсуву (перетворення послідовного коду в паралельний і навпаки).

Регістром називають пристрій, призначений для прийому, зберігання та видачі інформації. Регістр складається з комірок, кількість яких дорівнює кількості розрядів кодових комбінацій. Є кілька різновидів регістрів. Найширшого застосування в телемеханіці отримали регістри зсуву, або послідовні регістри, запис інформації в які проводиться лише через першу комірку, і регістри пам'яті, або паралельні регістри, запис в які проводиться одночасно через всі комірки.

Розподільник – пристрій, що має ряд виходів і забезпечує почергове виникнення імпульсів (потенціалів) на цих виходах. Існують самохідні розподільники (виконані, наприклад, на багатотактному мультівібраторі), у яких немає входу. Однак, в телемеханіці застосовують розподільники, на вхід яких подаються імпульси, що забезпечують почергове виникнення на виходах імпульсів (потенціалів).

Комутатором називається пристрій, призначений для вибору і під'єднання одного з багатьох входів (виходів) тільки до одного виходу (входу). Будь-який із ключів може бути замкнений за вимогою зі схеми управління, під'єднуючи тим самим обраний вхідний ланцюг до виходу

схеми. Схемою управління може бути регістр, розподільник, дешифратор або інший пристрій, що по чергово видає сигнали для під'єднання входів, число яких не обмежене.

Комутатори поділяються на мультиплексори і демультиплексори.

Мультиплексором називається функціональний вузол, призначений для передачі інформації, яка надходить по одному з вхідних каналів на вихідний канал.

Мультиплексори мають дві групи входів: інформаційні і керуючі. Керуючі входи розподіляються на адресні і дозволяючі. Якщо мультиплексор має n адресних входів, кількість інформаційних входів m повинна відповідати нерівності: $m \leq 2^n$. Наприклад, за наявності у мультиплексора трьох адресних входів ($n = 3$) можна реалізувати вісім ($m = 2^3 = 8$) комбінацій адресних сигналів, кожна з яких забезпечує вибір одного з $m = 8$ вхідних сигналів, тобто у мультиплексора може бути вісім інформаційних входів.

Демультиплексором називається функціональний вузол, призначений для передачі інформації з єдиного інформаційного входу на один із виходів відповідно до заданого коду на адресних входах.

Компаратори – пристрої, що дозволяють порівняти два струму або дві напруги та визначити знак різниці між ними.

Частотні селектори пропускають або затримують сигнали певних частот. Є важливим елементом в системах із частотним розподілом каналів

Частотний селектор – пристрій, що реагує на певну частоту електричних коливань, який працює на принципі електричного або електромеханічного резонансу.

Селектори, дія яких ґрунтується на принципі електромагнітного резонансу. Такі селектори побудовані у вигляді електричного кола (контур), налаштованого в резонанс з частотою або частотами коливань. Такі кола володіють вибірковістю, тобто здатністю обирати із всіх частот лише резонансну.

Електричні селектори (реле) складаються із резонансного контура або

смугового фільтра і релейного елемента.

АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) перетворює аналоговий сигнал у цифровий код. Основні характеристики АЦП:

- розрядність;
- швидкодія;
- точність.

ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач) виконує зворотнє перетворення - формує аналоговий сигнал на основі цифрового коду. Такі перетворювачі використовуються для обробки сигналів мікропроцесорами та зв'язку цифрових систем з реальними об'єктами.

Мікропроцесорний контролер – це програмований пристрій для керування технологічними процесами. Його основні функції: збір інформації, обробка даних, формування команд керування, обмін інформацією з іншими пристроями.

Практичні завдання

Завдання 1. Диспетчер надсилає команду телекерування (ТК) на увімкнення конкретного масляного вимикача. На підстанції встановлено дешифратор, який приймає 4-розрядний двійковий код адреси вимикача. Яку максимальну кількість вимикачів (об'єктів) можна адресувати за допомогою такого дешифратора? Який номер виходу активується, якщо з ПУ прийде двійковий код 1010? (Переведіть число у десяткову систему).

Завдання 2. На контрольному пункті є 4 датчики положення роз'єднувачів. Їх потрібно підключити до одного мультиплексора, щоб передати дані в лінію зв'язку. Складіть таблицю умовних станів для адресних входів мультиплексора, які необхідно подавати послідовно, щоб по черзі опитати всі 4 датчики.

Завдання 3. Датчик струму дає на виході сигнал напруги від 0 до 5 В (що відповідає струму навантаження лінії від 0 до 1000 А). Потрібно налаштувати аналоговий компаратор так, щоб він миттєво видавав сигнал

аварії (логічну "1"), якщо струм у лінії перевищить 800 А. Яку опорну напругу (в вольтах) необхідно подати на інвертуючий вхід компаратора?

Завдання 4. Для телевимірювання (ТВ) напруги на шинах 10 кВ використовується 10-бітний АЦП. Діапазон вимірювання вхідної напруги трансформатора напруги становить від 0 до 120 В. Знайдіть загальну кількість дискретних рівнів, яку забезпечує цей АЦП, та розрахуйте роздільну здатність вимірювання (крок напруги в вольтах на одну одиницю молодшого розряду коду).

Завдання 5. Навести приклади використання компараторів, комутаторів, мультиплексорів та демультимплексорів у системах електропостачання.

Завдання 6. Порівняти АЦП і ЦАП (напрямок перетворення, типи сигналів, сфери застосування).

Тема 5. Передавання сигналів у телемеханічних системах

Мета заняття: дослідити способи передавання кодової інформації в телемеханічних комплексах та вивчити принципи побудови, інженерного розрахунку та частотного вибору високовольтних ВЧ-трактів зв'язку по лініях електропередачі та грозозахисних тросах.

Короткі теоретичні відомості

1. Передавання сигналів у телемеханічних системах

Передавання сигналів у системах телемеханіки забезпечує обмін інформацією між контрольними пунктами та пунктами управління.

Основними процесами при цьому є:

- формування сигналу;
- кодування;
- модуляція;
- передавання каналом зв'язку;
- приймання;
- декодування.

Для передавання використовують кабельні лінії, радіоканали, волоконно-оптичні лінії, високочастотні канали по лініях електропередавання.

Основними вимогами до передачі сигналів є:

- надійність;
- завадостійкість;
- швидкодія;
- точність передавання інформації.

Модем – це пристрій, який виконує модуляцію та демодуляцію сигналів. Основні функції модемів: перетворення цифрових сигналів, узгодження їх з каналом зв'язку, збільшення дальності передачі та зменшення впливу завад.

У системах телемеханіки використовують аналогові, цифрові, GSM/GPRS-модеми та Ethernet-модеми. Сучасні модеми підтримують промислові протоколи зв'язку.

2. Пристрої приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання

Фізична природа та характеристики носія пов'язані з певним фізичним середовищем між джерелом та одержувачем – каналом зв'язку.

Під каналом взагалі розуміють не тільки фізичне середовище (лінія зв'язку), в якому поширюється сигнал, а й сукупність технічних засобів, призначених для передачі сигналів.

Канали передачі інформації створюються на основі різноманітних ліній зв'язку. Для передачі інформації в енергосистемах використовуються канали по повітряних та кабельних лініях телефонного зв'язку, канали радіозв'язку та радіорелейного зв'язку, оптоволоконні і особливо широко, канали високочастотного (ВЧ) зв'язку по дротах ЛЕП (оскільки ЛЕП природно пов'язує всі підстанції між собою).

До основних переваг ВЧ зв'язку по ЛЕП відноситься висока надійність лінії зв'язку. Крім того, пункти, сполучені ЛЕП, в багатьох випадках співпадають з пунктами, між якими повинна передаватись інформація, при цьому зникає необхідність в будівництві спеціальних ліній зв'язку, а також в організації їх експлуатації. З цих причин витрати на створення та експлуатацію каналів зв'язку по дротах ЛЕП значно менші за витрати на інші види каналів. Але каналам по ЛЕП властиві специфічні завади, рівень яких значно вищий за рівень завад інших каналів.

Структурна схема ВЧ зв'язку по ЛЕП показана на рис. 5.1.

Джерело сигналів (ДС) підключається до апаратури ущільнення через перетворювач сигналів (ПС), який виконує первинне перетворення. Перетворення на передавальному кінці первинних низькочастотних (НЧ) сигналів у високочастотні (ВЧ) та зворотне перетворення на приймальному кінці здійснюється в апаратурі ВЧ ущільнення (АУ).

Апаратура приєднання (АП) слугує для передачі ВЧ сигналів від АУ на передавальному кінці дроту ЛЕП та для зворотної передачі на приймальному кінці. Апаратура обробки (АО) слугує для відокремлення по високій частоті дротів ЛЕП, до яких підключається АП, від решти мережі високої напруги. Приймач сигналу (Пр), як і ДС підключається до АУ через ПС.

ВЧ сигнали надходять від апаратури ущільнення до лінії електропередачі або з лінії на вхід АУ через пристрій приєднання (рис. 5.2), який містить: конденсатор зв'язку (КЗ), фільтр приєднання (ФП) та ВЧ (ВК) кабель

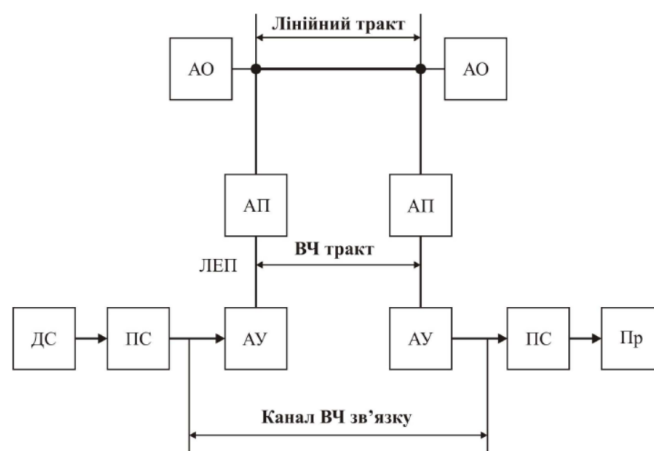


Рисунок 5.1 – Структурна схема ВЧ зв'язку по ЛЕП.

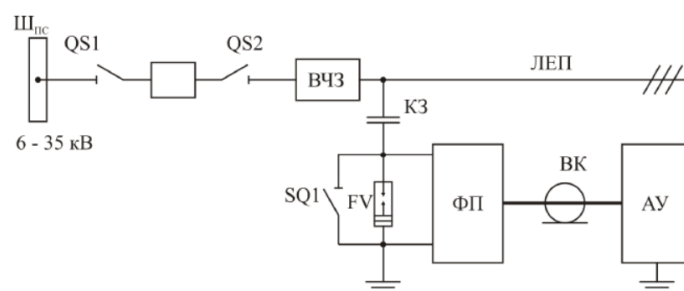


Рисунок 5.2 – Схема пристрою приєднання (ПП)

Конденсатор зв'язку призначений для підключення АУ до ліній високої напруги. Перенапруги, що виникають у ЛЕП, крізь КЗ потрапляють до ФП, а, отже, до ВЧ кабелю та АУ. Для захисту всіх цих елементів від перенапруги між нижньою обкладкою КЗ та заземленням вмикається розрядник FV,

пробій якого відбувається на фронті імпульсу та обмежує максимальне значення перенапруги на вході ФП. Пробивна напруга FV зазвичай обирається в межах 1,6 – 2,5 кВ.

Високочастотний загороджувач (ВЧЗ на рис. 5.1) призначений для ослаблення впливу шунтуючої дії шин підстанцій 6 - 35 кВ на параметри ВЧ тракту. Крім того, ВЧЗ застосовують для ослаблення шунтуючої дії відгалужень при заземленні лінії електропередавання під час ремонтних робіт. Високочастотний загороджувач врізають в робочий дріт ЛЕП між шинами підстанції і точкою підключення конденсатора зв'язку.

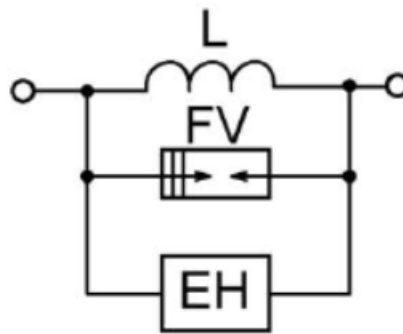


Рисунок 5.3 – Схема високочастотного загороджувача

Фільтром приєднання називають прилад, в якому містяться елементи для компенсації реактивного опору КЗ у заданій смузі частот, а також для узгодження ВЧ кабелю (ВК) та лінійного тракту, оскільки хвильовий опір ВК не рівний характеристичному опору лінійного тракту.

Крім цього, ФП заземлює нижню обкладинку КЗ за промисловою частотою, при цьому утворюється шлях для струмів промислової частоти, чим обумовлюється безпека праці.

При розгляді електричних характеристик ПП під ФП завжди розуміють схему фільтра, яка вміщує КЗ. При малих значеннях ємності конденсатора зв'язку доцільне застосування компенсаційних пристроїв, оскільки за їх допомогою на декількох фіксованих частотах можна здійснити приєднання з меншим загасанням, ніж у випадку смугового налаштування. При великих значеннях ємності КЗ застосування компенсаційних пристроїв недоцільно. У

теперішній час ФП за схемою компенсаційних пристроїв для приєднання до ЛЕП 110 кВ і вище застосовують рідко.

ФП характеризується наступними параметрами:

- шириною смуги пропускання, тобто смуги, в межах якої загасання фільтра не перевищує допустимого значення;
- характеристичним опором у середній частині смуги пропускання;
- частотними характеристиками робочого загасання, загасання неузгодженості та вхідного опору в межах смуги.

Всі фільтри приєднання є однофазними, тобто призначені для використання у схемах приєднання фаза-земля. У випадку необхідності утворення каналу за схемою фаза-фаза використовуються два ФП, кожний з яких працює на окремий ВЧ кабель.

Простим та дешевим способом приєднання в цих випадках є зв'язок АУ з лінією через антену l (рис. 5.4), являє собою дріт довжиною l , який підвішений паралельно лінії на деякій відстані від неї.

За антену l може слугувати або спеціальний дріт, або ізольована ділянка блискавкозахисного тросу. Ефективність антени залежить від її місцезнаходження відносно дротів ЛЕП, довжини антенного проводу, значення опору навантаження $Z_{\text{ант}}$ на його кінці та інших факторів.

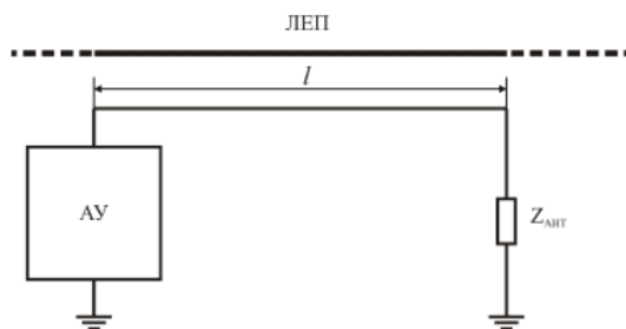


Рисунок 5.4 – Схема приєднання АУ до ЛЕП через антену

Основним недоліком антенного ПП є те, що загасання, яке вноситься ним у лінійний тракт, значно більше, ніж при використанні КЗ.

3. Розрахунок ВЧ трактів по розподільчих мережах 35 ÷ 500 кВ

Вибір частот виконують таким чином, щоб розмістити у використовуваному діапазоні 40-600 кГц максимальну кількість каналів для заданої схеми зв'язку.

Для вибору частот необхідні наступні вихідні дані:

- а) дані щодо електричної мережі в районі проходження проєктованих каналів;
- б) схеми існуючих та перспективних ВЧ каналів в енергосистемах;
- в) дані про радіомовні станції;
- г) дані про ожеледність району;
- д) технічні характеристики ВЧ устаткування;
- е) дані по зближенню ПЛ з повітряними лініями зв'язку, ущільненими в діапазоні частот до 150 кГц.

Вибір частот здійснюють наступним чином:

- а) визначають найбільшу можливу частоту для кожного проєктованого каналу;
- б) визначають вільні ділянки діапазону на графіку частот у межах найбільшої можливої частоти, які можуть бути зайняті для діапазону частот проєктованих каналів;
- в) визначають мінімальний рознос частот між проєктованими та існуючими каналами, за якого забезпечується робота каналу без взаємних завад в обраній вільній ділянці діапазону частот;
- г) обирають робочі частоти проєктованих каналів з мінімальним розносом смуг частот між каналами і припустимим розносом між приймачем і передавачем проєктованого каналу.

При проектуванні каналу розраховується загальне згасання тракту:

$$\alpha_{\text{заг}} = \alpha_{\text{л}} \cdot L + \alpha_{\text{вх}} + \alpha_{\text{апаратури}}$$

де $\alpha_{\text{л}}$ — питоме згасання лінії (дБ/км), яке суттєво зростає із підвищенням частоти сигналу, а L — довжина лінії.

Вибір частоти: для довгих ЛЕП обирають нижчі частоти ($24 \div 100$ кГц), оскільки вони менше згасають. Для коротких ліній можна брати вищі частоти. Найбільша частота обмежується моментом, коли сумарне згасання лінії перевищує перекривану здатність ВЧ-передавача (зазвичай робочий запас апаратури має бути не менше $10 \div 12$ дБ вище рівня шумів та затухання в ожеледь).

Практичні завдання

Завдання 1. Контрольний пункт передає на ПУ телесигнал стану масляного вимикача. Формат кадру стандарту ІЕС 60870-5-101 містить: 1 стартовий байт, 1 байт довжини, 1 байт адреси, 1 байт типу інформації, 1 байт власне даних (де корисним є лише 1 біт стану) та 1 байт контрольної суми (CRC). Розрахуйте загальну кількість біт у цьому кадрі (в 1 байті = 8 біт). Визначте інформаційну ефективність передачі ($E = \frac{\text{Корисні біти}}{\text{Загальні біти}} \cdot 100\%$). Проаналізуйте, чому цей показник такий низький.

Завдання 2. На підстанції встановлено конденсатор зв'язку ємністю $C = 4400$ пФ. Обчисліть опір конденсатора $X_c = \frac{1}{2\pi fC}$ для промислової частоти мережі $f_1 = 50$ Гц. Переконайтеся, що він безпечно блокує струм. Обчисліть опір цього ж конденсатора для робочої частоти модема телемеханіки $f_2 = 100$ кГц.

Завдання 3. Проектуються дві лінії електропередачі: ЛЕП-1 довжиною 15 км та ЛЕП-2 довжиною 120 км. У розпорядженні проектувальника є дві вільні частоти для організації каналів ТМ: 64 кГц (низьке згасання в лінії) та 450 кГц (високе згасання в лінії). Розподіліть ці дві частоти між лініями так, щоб забезпечити надійний зв'язок на обох об'єктах. Обґрунтуйте логіку вашого рішення.

Завдання 4. Питоме згасання лінії 110 кВ за нормальних умов на частоті 100 кГц становить $\alpha_0 = 0,12$ дБ/км. Під час ожеледі (обледеніння дротів) згасання зростає в 3 рази. Довжина лінії $L = 50$ км. Втрати у фільтрах

та апаратурі приєднання на обох кінцях сумарно становлять $\alpha_{\text{вх}} = 6$ дБ. Передавач модема ТМ забезпечує нормальну роботу, якщо загальне затухання трактів не перевищує 35 дБ. Розрахуйте загальне згасання тракту $\alpha_{\text{заг}}$ під час ожеледі. Чи пройде сигнал телемеханіки в таких погодних умовах?

Тема 6. Автоматизовані системи управління технологічними процесами

Мета заняття: опанувати загальну структуру, призначення та показники надійності АСУ ТП, а також вивчити етапи їхнього життєвого циклу та сучасні технології проектування автоматизованих систем.

Короткі теоретичні відомості

1. Загальні характеристики АС. Призначення та структура

Автоматизована система (АС) — це система, що складається з комплексу засобів автоматизації та персоналу, який здійснює керування технологічним чи виробничим процесом.

Класична структура АСУ ТП є ієрархічною і включає три основні рівні (піраміда автоматизації):

1. Нижній (польовий) рівень: датчики (ТМ, ТВ, ТС), виконавчі механізми (реле, приводи), кінцеві вимикачі.

2. Середній рівень (рівень контролерів): мікропроцесорні ПЛК (програмовані логічні контролери) та модулі вводу-виводу. Вони збирають дані з нижнього рівня, реалізують локальні алгоритми автоматичного регулювання та блокування.

3. Верхній рівень (диспетчерський): SCADA-системи, сервери баз даних, промислові комп'ютери та АРМ оператора/диспетчера. Призначений для візуалізації процесу, ведення архівів та супервізорного керування.

Для того, щоб обладнання різних виробників працювало в одній системі, використовуються міжнародні стандарти, такі як **серія ІЕС 61131** (для програмування ПЛК), **ІЕС 61850** (для автоматизації підстанцій) та відкриті протоколи (Modbus, OPC UA).

Під **надійністю** розуміють здатність системи безвідмовно виконувати свої функції протягом заданого часу. Основні показники надійності - *середній час між відмовами* та *середній час відновлення*. Для критичних об'єктів (наприклад, енергетики) з метою підвищення надійності застосовують **дублювання** (гарячий резерв контролерів, серверів, каналів зв'язку).

2. Життєвий цикл АСУ

Відповідно до стандартів (наприклад, ISO/IEC 15288 чи ГОСТ 34), **життєвий цикл** системи охоплює всі етапи від виникнення потреби в ній до її утилізації. Для АСУ ТП це включає:

1. Формування вимог та розробка технічного завдання (ТЗ).
2. Проектування (стадії "Технічний проект" та "Робоча документація").
3. Виготовлення, комплектація та програмування компонентів.
4. Впровадження (монтаж, налагодження, приймально-здавальні випробування).
5. Експлуатація та технічне обслуговування.
6. Модернізація або демонтаж (утилізація).

Практичні завдання

Завдання 1. На автоматизованій насосній станції підстанції встановлено таке обладнання: електронний датчик тиску води, дисплей комп'ютера диспетчера зі схемою трубопроводів, програмований контролер Schneider Electric, кнопка аварійної зупинки на стіні, електромотор засувки, сервер для збереження графіків тиску. Складіть таблицю з трьох колонок ("Нижній рівень", "Середній рівень", "Верхній рівень") та рознесіть вказане обладнання за відповідними рівнями ієрархії АСУ ТП.

Завдання 2. Контролер системи телемеханіки за рік безперервної роботи (8760 годин) сумарно перебував у ремонті та налагодженні через поодинокі збої 8 годин (час відновлення). Обчисліть коефіцієнт готовності системи за формулою:

$$K_r = \frac{T_{\text{роботи}}}{T_{\text{роботи}} + T_{\text{відновлення}}}$$

Чи відповідає такий показник вимогам до високонадійних систем в енергетиці (де зазвичай вимагається $K_r \geq 0,999$)?

Завдання 3. Підприємство вирішило модернізувати систему обліку електроенергії. Головний інженер одразу наказав закупити щити та контролери, не склавши технічного завдання (ТЗ) і не виконавши проектних розрахунків. Спираючись на етапи життєвого циклу АСУ, поясніть, до яких технічних та фінансових ризиків під час монтажу й експлуатації може призвести таке рішення. Назвіть щонайменше 2 наслідки.

Завдання 4. Складіть невеликий перелік технічних вимог (3–4 пункти) для розділу "Вимоги до надійності та безпеки" технічного завдання на проектування АСУ ТП цехової підстанції. (Підказка: врахуйте необхідність дублювання живлення, захист від пилу/вологи ІР, резервування каналів та обмеження доступу персоналу).

Тема 7. Види забезпечення АСУ ТП

Мета заняття: вивчити суть та класифікацію видів забезпечення АСУ ТП, з'ясувати функціональне призначення та взаємодію технічної, програмної, інформаційної та організаційної складових.

Короткі теоретичні відомості

1. Види забезпечення АСУ ТП

Склад і будову будь-якої АСК ТП вибирають так, щоб система відповідала основним технічним вимогам і частковим вимогам, які наводяться в Технічному завданні для її створення. У загальному вигляді АСК ТП в цілому і її підсистеми повинні відповідати наступним основним технічним вимогам:

- керувати об'єктом в цілому в реальному часі;

- керувати технологічними процесами відповідно до прийнятого критерію керування;

- виконувати всі покладені на неї функції відповідно до призначення і мети керування;

- мати необхідні показники і характеристики точності, надійності та швидкодії;

- відповідати ергономічним вимогам, які пред'являють до способів, форми подання інформації оператору-технологу, розміщення технічних засобів, тощо;

- бути пристосованою до взаємозв'язаного функціонування із системами керування із суміжних рівнів ієрархії та іншими АСК ТП, тобто мати властивість технічної і інформаційної сумісності;

- мати необхідні метрологічні характеристики інформаційно-вимірювальних каналів;

- нормально функціонувати в умовах підвищених вологості й запилення повітря, високої температури повітря;

- забезпечити заданий термін функціонування системи за умови проведення відновлювальних робіт;

допускати можливість подальшої модернізації та розвитку.

Окрім того, до конкретної АСК ТП за згодою замовника і розробника системи ставлять інші необхідні вимоги.

До складу будь-якої АСК ТП входять такі головні компоненти (частини системи): оперативний персонал (ОП) та забезпечення - інформаційне (ІЗ), організаційне (ОЗ), математичне (МЗ), програмне (ПЗ) і технічне (ТЗ).

Технічне забезпечення (ТЗ) - це сукупність технічних засобів, тобто первинних (ПП) і передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів, виконавчих механізмів (ВМ), мікропроцесорного контролера (МПК), а також алгоритмів їх функціонування для реалізації всіх функцій АСК ТП.

Математичне забезпечення (МЗ) - це сукупність математичних методів і моделей, а також алгоритмів, що описують технологічні процеси об'єкта керування, достатніх для реалізації всіх функцій АСК ТП.

Програмне забезпечення (ПЗ) - це сукупність машинних програм, що необхідні для реалізації МЗ і функціонування ТЗ АСК ТП. ПЗ розподіляють на загальне (ЗПЗ) і спеціальне (СПЗ).

Інформаційне забезпечення (ІЗ) - це автоматично контрольовані параметри об'єкта керування у вигляді сигналів; а також системи класифікації і кодування інформації; масиви даних і документів, необхідних для реалізації ПЗ АСК ТП.

Організаційне забезпечення (ОЗ) - це сукупність описів функціональної, технічної і організаційної структур АСК ТП, а також інструкцій і технологічних регламентів для оперативного персоналу.

Оперативний персонал (ОП) складається з операторів-технологів (ОТ), які безпосередньо керують об'єктом, і експлуатаційного персоналу (ЕП), який обслуговує технічні, в тому числі МПК і програмні засоби.

Процес функціонування АСК ТП є процес ціленаправленого перетворення вхідної інформації у вихідну. В АСК ТП це перетворення виконується спільно двома компонентами: оперативним персоналом і технічним забезпеченням, які збирають вхідну інформацію від об'єкта

керування та інших зовнішніх джерел, обробляють і аналізують її, а потім приймають рішення для керування об'єктом і реалізують ці рішення, для чого формують відповідні керуючі впливи на об'єкт, а також інші сигнали, які несуть вихідну інформацію як своєрідну продукцію системи. Тому оперативний персонал і технічні засоби, які включають мікропроцесорний контролер (МПК), є головними компонентами АСК ТП як людино-машинної системи.

Щоб оперативний персонал і технічні засоби могли функціонувати правильно, відповідно до прийнятих критеріїв керування, необхідно забезпечити їх відповідними правилами і інструкціями. Для оперативного персоналу це завдання виконує документація організаційного забезпечення АСК ТП, а для основної частини технічних засобів - МПК - програмне забезпечення. Інші частини технічних засобів реалізують свої алгоритми апаратними способами, тобто самою конструкцією, а тому не потребують додаткових інструкцій.

Поміж наведених компонентів АСК ТП у процесі її функціонування виникає інтенсивна взаємодія: організаційне і програмне забезпечення визначає поведінку оперативного персоналу і МПК відповідно; крім того, оперативний персонал активно взаємодіє з технічним забезпеченням і при необхідності коригує програмне забезпечення. Всі ці взаємодії усередині АСК ТП, а також її взаємодія із зовнішнім середовищем мають насамперед інформаційний характер тому, що зводяться до передачі та прийому інформації у вигляді різних сигналів, даних, повідомлень, текстів тощо. Такий інформаційний обмін потребує наявності деяких порозумінь про форми і можливі значення інформаційних елементів. Сукупність цих порозумінь складає інформаційне забезпечення, за допомогою якого відбуваються процеси обміну інформацією як всередині АСК ТП, так і з зовнішнім середовищем.

Щоб автоматизована система працювала як єдиний комплекс, вона потребує взаємодії кількох складових (видів забезпечення):

2. Технічне забезпечення АСУ ТП

До складу технічного забезпечення входять:

- комплекс технічних засобів;
- методичні й керівні матеріали, технічна документація;
- персонал, що забезпечує ефективність функціонування АСКП.

Комплекс технічних засобів – це сукупність взаємозалежних з єдиним управлінням технічних засобів, призначених для автоматизованої й інтегрованої обробки даних, а також зберігання (накопичення) даних і ведення інформаційного обміну між робочими станціями й серверами, що входять комп'ютерну мережу.

Комплекс технічних засобів можна розділити на чотири основні групи.

1. Група збору інформації, тобто формування первинних повідомлень, які фіксують хід виробничих і технологічних процесів, перешкоди, що виникли, збої і перешкоди в роботі підрозділів, зміст юридичних і нормативних актів. Важливою є забезпеченість сучасними засобами зв'язку.

2. Засоби накопичення й відновлення даних, при якому забезпечується можливість швидкого пошуку й відбору потрібних у будь-який момент відомостей, захист їх від викривлень і втрати зв'язності.

3. Засоби обробки інформації, у результаті якої на основі раніше накопичених даних утворюються нові види даних: прогнозні варіанти управлінських рішень, вирішення різних технічних, економічних, маркетингових завдань; крім цього – узагальнюючі, рекомендаційні, аналітичні види даних. В обробці даних беруть участь одна або декілька ЕОМ, з'єднаних засобами телекомунікацій.

4. Засоби відображення даних, представлення даних у формі, яка є зручною для сприйняття людиною (графіки, діаграми, об'єкти мультимедіа й ін.). Однак майже в кожному разі результати переводяться на машинний носій.

ЕОМ є головною складовою комплексу технічних засобів АСК й призначена для виконання операцій вводу інформації, обробки даних по закладеній у ній програмі, а також виводу результатів обробки у формі, придатній для сприйняття користувачем. Зазначені дії здійснюються відповідними агрегатами ЕОМ – блоками введення/виводу інформації (зовнішніми пристроями) і центральним процесором. Кожна із цих конструкцій досить складна й, у свою чергу, складається з окремих, більш дрібних пристроїв. Зокрема, у центральний процесор можуть входити арифметично-логічний пристрій, управляючий пристрій і оперативний запам'ятовувальний пристрій.

Пристроєм введення/виводу представлені не однієї конструктивною одиницею у зв'язку з тим, що види виведеної інформації, що уводиться й виводиться різноманітні. Пристрій управління здійснює координацію роботи всіх агрегатів ЕОМ.

Арифметико-логічний пристрій виконує перетворення даних, що передбачені командами програми.

В оперативному запам'ятовувальному пристрої містяться програми, а також тимчасово зберігається частина вхідних даних і проміжних результатів.

Запам'ятовуючі пристрої бувають трьох видів:

- двонаправлені (допускають і зчитування даних, і запис даних);
- напівпостійні (призначені для зберігання рідко оновлюваної інформації);
- постійні (допускають тільки зчитування інформації).

Якість ЕОМ характеризується такими показниками:

- набір інструкцій (команд), які ЕОМ здатна розуміти й виконувати;
- швидкість роботи (швидкодія) центрального процесора (кількість операцій, яку центральний процесор здатний виконати в одиницю часу);
- кількість зовнішніх пристроїв, які можна приєднати до неї одночасно;
- споживання електроенергії тощо.

Технічне забезпечення включає весь комплекс технічних засобів: чутливі елементи, перетворювачі, засоби обчислювальної техніки, вторинні прилади й регулятори, виконавчі механізми і т.д. (у комплекс технічних засобів АСУТП не входять лише органи регулювання), достатній для функціонування системи.

3. Програмне забезпечення АСУ ТП та рівні мов програмування

Програмне забезпечення АСК ТП являє собою сукупність програм, що забезпечує реалізацію всіх функцій системи, задане функціонування технічного забезпечення АСК ТП і передбачений розвиток системи. Під програмою розуміють конкретну реалізацію машинного алгоритму для вирішення будь-якої задачі. Програмне забезпечення АСК ТП описують із різним ступенем докладності залежно від того, хто буде користувачем цього опису. В спрощеній функціональній схемі МПК умовно виділяють три частини: устаткування виконання програм, програми, дані.

Програма - це послідовність команд, які необхідно виконати для реалізації заданого алгоритму обробки даних.

Для опису послідовності команд використовують спеціальні мови програмування, які для конкретних МПК можуть бути індивідуальними.

На сьогодні прийнята класифікація ПЗ АСК ТП, в якій програмні елементи розподілені на два класи: загальне програмне забезпечення (ЗПЗ) і спеціальне програмне забезпечення (СПЗ).

Загальне програмне забезпечення (ЗПЗ) АСК ТП представляє сукупність програм, яку постачають на сьогодні в комплекті із засобами технічного забезпечення і яка призначена для організації функціонування технічних засобів АСК ТП, службових програм і розробки програми спеціального ПЗ.

Спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) АСК ТП - це частина програмного забезпечення, яку розробляють при створенні конкретних АСК ТП для реалізації інформаційних і керуючих функцій. Його створюють на базі ЗПЗ.

Всі існуючі мови програмування можна поділити на дві групи:

- мови низького рівня;
- мови високого рівня.

Для програмування промислових контролерів використовується міжнародний стандарт **ІЕС 61131-3**, який визначає 5 графічних та текстових мов різних рівнів:

1. Низький рівень (текстовий): *IL (Instruction List)* – аналог асемблера. Зараз використовується рідко.

2. Низький рівень (графічний): *LD (Ladder Diagram)* – мова релейно-контактних схем. Ідеальна для електриків, візуалізує логіку "катушок" та "контактів".

3. Високий рівень (графічний): *FBD (Function Block Diagram)* – мова функціональних блоків (логічні елементи І, АБО, тригери, таймери, ПД-регулятори). Найпопулярніша в АСУ ТП.

4. Високий рівень (текстовий): *ST (Structured Text)* – Паскалеподібна мова. Незамінна для складних математичних розрахунків та обробки масивів даних.

5. Послідовнісні схеми: *SFC (Sequential Function Chart)* – графічна мова для опису покрокових алгоритмів технологічного процесу.

4. Інформаційне забезпечення (ІЗ)

Інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління – це сукупність єдиної системи класифікації й кодування техніко-економічної інформації, уніфікованих систем документації й масивів інформації, що використовуються в автоматизованих системах управління. Сутність інформаційного забезпечення полягає в інформаційному відображенні умов, стану й результатів виробничого процесу, обміні інформацією між органом і об'єктом управління для регулювання його діяльності.

Інформаційне забезпечення підрозділяють на зовнішньо- і внутрішньомашинне. До зовнішньомашинного інформаційного забезпечення відносять:

- оперативну документацію, що містить відомості про стан об'єкта управління й середовища;
- нормативно-довідкові документи, що включають систематизовану проектно-кошторисну, технічну, технологічну, організаційну й виробничу документацію, а також архівну інформацію;
- систему класифікації й кодування інформації;
- інструкції з організації вводу, зберігання, внесення змін у нормативно-довідкову документацію, у тому числі й у масиви даних про середовище.

Внутрішньомашинне інформаційне забезпечення містить у собі інформаційну базу на машинних носіях, систему програм її організації, накопичення, вводу й доступу до даних. Джерелом формування внутрішньомашинного інформаційного забезпечення служить зовнішньомашинна інформаційна база.

Основні вимоги до інформаційного забезпечення АСК формуються на основі даних передпроектного обстеження підприємства. У процесі розробки завдань АСК проектування інформаційного забезпечення звичайно розглядається як відносно самостійна частина загальної розробки автоматизованої системи управління.

Виділення інформаційного забезпечення АСКТП у вигляді самостійного компонента розробки і експлуатації системи відбулося лише в останні роки, і чітку грань між програмним та інформаційним забезпеченням в даний час провести важко.

Практичні завдання

Завдання 1. Інженеру АСУ ТП потрібно запрограмувати контролер для керування підстанцією. Йому необхідно реалізувати два завдання:

1. Алгоритм аварійного блокування ввімкнення вимикача, який базується на стані трьох кінцевих вимикачів за логікою: *"Увімкнути, якщо Контакт 1 і Контакт 2 замкнені, АБО якщо натиснута Кнопка Тест"*.

2. Розрахунок середнього значення температури трансформатора за останні 24 години на основі формули та циклічного масиву з 24 значень.

Які мови програмування (LD, FBD, ST) доцільно обрати для першого та для другого завдання? Обґрунтуйте, чому графічна чи текстова мова буде зручнішою у кожному конкретному випадку.

Завдання 2. В АСУ ТП підстанції вводиться новий сигнал – значення струму фази "А" силового трансформатора №2 (Т-2). Запропонуйте структуру ідентифікатора (імені тегу) для цього сигналу в базі даних SCADA, використовуючи латиницю та принцип ієрархічності (наприклад: *Об'єкт_Обладнання_Параметр*). Поясніть, чому не варто називати такий тег просто "Strum_1".

Завдання 3. На цеховій підстанції замість промислового комутатора в шафу автоматики встановили звичайний дешевий офісний пластиковий комутатор. У літній період через високе навантаження трансформаторів температура всередині шафи піднялася до $+55^{\circ}\text{C}$, а поруч запустили потужний асинхронний двигун. Комутатор "завис", і диспетчер втратив зв'язок із підстанцією. Спираючись на особливості *промислових комутаторів*, назвіть щонайменше дві конструктивні чи експлуатаційні причини, через які офісний пристрій вийшов із ладу в цих умовах.

Завдання 4. Напишіть короткий фрагмент інструкції (один з елементів організаційного забезпечення) для оператора SCADA-системи на випадок, якщо на екрані з'явилося червоне аварійне повідомлення: *"Перегрів обмотки трансформатора Т-1 ($>95^{\circ}\text{C}$)"*. Інструкція повинна містити чітку послідовність із 3 дій (наприклад: підтвердження аварії, перевірка вентиляторів, сповіщення служб).

Тема 8. Принципи побудови АСУ ТП на основі телемеханічних систем

Мета заняття: вивчити системні принципи інтеграції пристроїв телемеханіки в єдиний комплекс АСУ ТП, дослідити архітектуру взаємодії багаторівневих ієрархічних структур.

Короткі теоретичні відомості

1. Принципи побудови АСУ ТП на базі телемеханіки

Історично телемеханіка займалася лише передачею сигналів на великі відстані, а АСУ ТП – автоматизацією локальних процесів. В сучасних системах ці підходи об'єднані. Побудова АСУ ТП на базі систем ТМ базується на таких принципах:

Ієрархічність, що передбачає чіткий розподіл функцій між рівнями (від польового датчика до центрального диспетчерського пункту).

Територіальна розподіленість, що визначає здатність системи надійно працювати з об'єктами, що віддалені на десятки й сотні кілометрів (підстанції електричної мережі).

Централізація управління: збір усієї критичної інформації в єдиному центрі (ПУ) для прийняття рішень оператором.

Сумісність та відкритість через використання стандартних промислових протоколів обміну (IEC 60870-5-104, Modbus TCP) для інтеграції обладнання різних виробників.

2. Структура функціональних модулів як мікропроцесорних систем

Сучасні ПУ та КП будуються на основі модульних мікропроцесорних архітектур (на базі RTU - Remote Terminal Unit або промислових ПЛК). Типова внутрішня структура мікропроцесорного пристрою ТМ включає такі модулі:

1. Центральний процесорний модуль (CPU): виконує системну програму, обробляє дані, керує чергою повідомлень та виконує логічні алгоритми.

2. Модулі дискретного вводу (DI): приймають сигнали ТС про стан вимикачів, аварійні реле. Мають обов'язкову оптичну розв'язку для захисту процесора від перенапруг.

3. Модулі аналогового вводу (AI): містять АЦП для перетворення безперервних сигналів струму й напруги (ТВ) у цифровий код.

4. Модулі дискретного виводу (DO): містять вихідні реле або симістори для видачі імпульсів ТК (команд увімкнути/вимкнути) на виконавчі механізми.

5. Комунікаційні модулі: плати з інтерфейсами (Ethernet, RS-485, RS-232) та модемами для зв'язку з іншими вузлами системи.

4. Інформаційна взаємодія між функціональними модулями

Інформаційна взаємодія забезпечує обмін даними між усіма елементами системи.

Основні напрями передавання інформації:

- від датчиків до контролерів;
- між контролерами;
- від КП до ПУ;
- від ПУ до виконавчих механізмів.

Всередині контролера або системи ПУ модулі обмінюються інформацією через **внутрішню системну шину (backplane)**, яка складається з шини даних, шини адреси та шини керування.

Зовнішній обмін між КП та ПУ здійснюється за мережевими топологіями та протоколами, де інформаційна взаємодія може бути організована двома методами:

- **Циклічне опитування:** ПУ по черзі опитує кожен КП щодо поточного стану або наявності змін у ньому. Метод є більш надійним, але передбачає постійну зайнятість каналу зв'язку.

- **Спопорадична передача:** КП передає оновлені дані про стан об'єкту, коли параметр змінився. Цей варіант використовується для повільних каналів зв'язку, не створюючи постійного його завантаження.

Практичні завдання

Завдання 1. Проектування конфігурації КП (RTU) Необхідно зібрати з модулів контрольний пункт (RTU) для автоматизації цехової підстанції. На об'єкті встановлено:

8 масляних вимикачів (від кожного передається інформація про стан "Увімкнено/Вимкнено" – по 2 сигнали ТС на вимикач).

4 датчики температури трансформаторів (аналогові сигнали $4\div 20$ мА).

6 вимикачів, якими диспетчер має керувати дистанційно (команди ТК "Увімкнути" та "Вимкнути" через вихідні реле).

В наявності є такі модулі: DI (на 16 входів), AI (на 4 входи), DO (на 8 релейних виходів). Визначити, скільки і яких модулів вводу-виводу (DI, AI, DO) необхідно встановити, щоб забезпечити підключення всіх сигналів підстанції.

Завдання 2. Система телемеханіки району працює по радіоканалу з низькою швидкістю передачі даних. До системи підключено 20 підстанцій. На одній із підстанцій виникла аварія – короткі замикання спричинили серію миттєвих відключень обладнання. Поясніть, який режим обміну даними (циклічне опитування чи спорадична передача за зміною) дозволить диспетчеру швидше дізнатися про аварію. Обґрунтуйте свою думку з точки зору раціонального використання швидкості каналу зв'язку.

Завдання 3. Модуль аналогового вводу (AI) на КП здійснює вимірювання струму. Оцифроване значення ТВ займає в пам'яті процесора 2 байти (16 біт). Контролер налаштований передавати це значення на ПУ циклічно кожні 0,5 секунди. Який об'єм інформації (у байтах та бітах) надішле цей модуль на ПУ за 1 хвилину безперервної роботи? (Службові біти протоколу передачі при розрахунку не враховуйте).

Тема 9. Елементи оперативно-інформаційного комплексу АСУТП

Мета заняття: Закріпити знання про архітектуру верхнього рівня АСУ ТП, вивчити склад програмно-апаратних елементів ОІК, освоїти принципи класифікації технологічних сигналів та розібратися в алгоритмах обміну даними між рівнями системи.

Короткі теоретичні відомості

1. Місце ОІК у дворівневих та трирівневих моделях АСУ ТП

Оперативно-інформаційний комплекс (ОІК) є центральним елементом систем диспетчерського управління (АСДУ / SCADA), який забезпечує збір, обробку, відображення та архівацію технологічних даних у реальному часі. Його місце визначається структурою побудови АСУ ТП.

Дворівнева модель АСУ ТП

У спрощених або локальних системах автоматизації вертикальна структура має лише два основні рівні: **нижній** та **верхній**.

Нижній (польовий / контролерний) рівень. Первинні датчики, виконавчі механізми та програмовані логічні контролери (ПЛК / RTU). Вони здійснюють безпосередній збір сигналів та локальне автоматичне керування.

Верхній (диспетчерський) рівень представлений **ОІК**.

У дворівневій моделі ОІК суміщає функції безпосереднього людино-машинного інтерфейсу (НМІ) та сервера бази даних. Він на пряму взаємодіє з контролерами нижнього рівня через промислові протоколи (наприклад, Modbus, МЕК 60870-5-101/104), обробляє інформацію та видає команди керування від диспетчера безпосередньо на об'єкт.

Трирівнева модель АСУ ТП

Це класична, більш масштабна та ієрархічно розгалужена структура, що застосовується на великих промислових та енергетичних об'єктах (наприклад, на сучасних підстанціях чи диспетчерських пунктах мереж).

Нижній (польовий) рівень. Датчики, трансформатори струму/напруги, приводи, інтелектуальні електронні пристрої (ІЕП / ІЕД).

Середній (контролерний / комунікаційний) рівень. Програмовані контролери, пристрої телемеханіки (RTU), шлюзи та концентратори даних. Вони збирають дані з нижнього рівня, здійснюють локальне регулювання, блокування, часову синхронізацію та передають концентрований потік інформації на верхній рівень.

Верхній (диспетчерський / загальносистемний) рівень. Рівень центрів керування, серверів та диспетчерських пунктів. ОІК є ядром верхнього рівня. Він отримує вже попередньо оброблені, відфільтровані та прив'язані до міток часу дані від серверів телемеханіки або концентраторів середнього рівня.

На цьому рівні ОІК інтегрується з суміжними системами: базами даних історичного архіву (History Server), геоінформаційними системами (ГІС), а також передає макропараметри на найвищий корпоративний рівень управління (MES/ERP).

2. Апаратна архітектура ОІК та забезпечення надійності

Апаратна архітектура ОІК будується як високонадійна, відмовостійка обчислювальна система, здатна функціонувати в постійному режимі. Оскільки ОІК є основою диспетчерського керування, будь-яка відмова апаратної частини може призвести до втрати контролю над технологічним об'єктом.

Сучасна архітектура ОІК є розподіленою клієнт-серверною системою. Вона включає такі основні апаратні компоненти:

1. Комунікаційні сервери. Їх функція – опитування пристроїв нижніх рівнів (КП, RTU, лічильників), первинна обробка протоколів (МЕК 60870-5-104, Modbus тощо), конвертація даних та синхронізація часу (GPS/NTP). Одночасно вони захищають центральні сервери від мережевого перевантаження.

2. Сервери бази даних та обробки. Призначені для ведення бази даних реального часу, розрахунку похідних параметрів, перевірки технологічних меж (тривоги/аварії) та ведення історичних архівів (історія подій, тренди).

3. Робочі місця диспетчерів (АРМ – автоматизовані робочі місця). Здійснюють візуалізацію даних (мнемосхеми, графіки, таблиці) та передача команд керування. Реалізуються на основі промислових ПК з багатомоніторними системами (2–4 монітори на одного диспетчера) або відеостіни.

4. Мережева інфраструктура, яка включає промислові комутатори (Switches) та маршрутизатори (Routers), які об'єднують усі сервери та АРМ у локальну обчислювальну мережу (LAN).

Надійність ОІК досягається за рахунок комплексного підходу: резервування, модульності та надійного електроживлення.

Резервування апаратних засобів – головний метод боротьби з відмовами. Застосовують різні схеми:

Дублювання серверів. Центральні сервери та сервери зв'язку завжди працюють парами – Основний (Primary) та Резервний (Backup). Резервний сервер постійно синхронізує базу даних з основним через виділений канал (Heartbeat). У разі відмови основного, резервний автоматично «підхоплює» роботу за частки секунди (без втрати даних та зв'язку з АРМ).

Резервування мережевих каналів. Кожен сервер та АРМ підключається до двох незалежних локальних мереж (LAN1 та LAN2) через окремі мережеві карти. Використовуються протоколи швидкого переключення (наприклад, RSTP або PRP/HSR для цифрових підстанцій).

Самі фізичні сервери ОІК мають підвищений коефіцієнт надійності. Це забезпечується за рахунок резервування живлення (встановлення двох блоків живлення (Hot-Swap) в один сервер, підключених до різних ліній джерела безперебійного живлення (ДБЖ)), використання дискових масивів (RAID): (дзеркалювання дисків, що дозволяє серверу працювати навіть у разі фізичного виходу з ладу одного чи кількох жорстких дисків).

Крім цього, живлення стійок з обладнанням ОІК здійснюється від ДБЖ, які тримають навантаження до запуску дизель-генератора, а для

запобігання перегріву процесорів створюються резервовані системи кондиціювання

3. Структура сигналів в ОІК

Вся інформація, яка надходить до ОІК від об'єктів автоматизації, поділяється на два класи за своєю природою: дискретну та аналогову.

Дискретні сигнали несуть інформацію про стан об'єктів, які мають фіксовану кількість станів (зазвичай два: увімкнено/вимкнено, відкрито/закрито). Усі сигнали ТС обов'язково прив'язуються до мітки часу (астрономічного часу події).

Аналогові сигнали описують безперервні фізичні процеси та величини, які постійно змінюються в часі. ОІК отримує їх у вигляді оцифрованих кодів.

4. Інструменти людино-машинного інтерфейсу (НМІ) та аварійної сигналізації

Людино-машинний інтерфейс (НМІ – Human-Machine Interface) в ОІК є основним робочим інструментом оперативного персоналу (диспетчерів). Його головна функція – трансформація величезного потоку цифрових та аналогових даних у наочну, інтуїтивно зрозумілу графічну форму для швидкого прийняття рішень, особливо в критичних або аварійних ситуаціях.

Основні інструменти візуалізації НМІ

Динамічні мнемосхеми – графічне зображення технологічної схеми об'єкта (наприклад, схеми електричних з'єднань підстанції, теплової мережі чи контуру автоматизації). Комутаційні апарати змінюють свій колір або вигляд залежно від стану (увімкнено/вимкнено/невизначено), а поруч із лініями відображаються поточні значення телевимірювань.

Тренди (Графіки ходу процесу) – візуалізація зміни аналогових параметрів у часі. Дозволяють диспетчеру бачити тенденції (наприклад, небезпечне зростання температури або просідання напруги).

Табличні форми та рапорти - зведені відомості про стан обладнання, добові відомості, баланси енергії.

Підсистема аварійної та попереджувальної сигналізації (Alarms & Events) – критично важлива частина НМІ, яка привертає увагу диспетчера до відхилень технологічного процесу від норми. За стандартами, усі повідомлення чітко розділяються на **аварії/тривоги (Alarms)** та **події (Events)**.

Аварійні повідомлення потребують негайної реакції або втручання диспетчера (наприклад, аварійне вимкнення вимикача від захисту, вихід тиску чи температури за критичну межу).

Попереджувальні повідомлення інформують, що параметр наближається до небезпечної межі, але критична ситуація ще не настала.

Події – це нормальний перебіг процесу, що фіксується в журналі для історії (наприклад, планове перемикання роз'єднувача диспетчером, запуск вентилятора охолодження). Не потребує реакції персоналу.

6. Організація інформаційного обміну

Для передачі інформації від промислових контролерів, пристроїв телемеханіки та інтелектуальних електронних пристроїв (ІЕП) до верхнього рівня (ОІК) застосовуються спеціалізовані протоколи зв'язку. Кожен із них має свою специфіку, сферу застосування та архітектурні особливості.

Базові протоколи верхнього рівня

Modbus TCP – це адаптація класичного промислового протоколу Modbus RTU для мереж Ethernet (використовує транспортний протокол TCP/IP, стандартний порт 502). ОІК (клієнт) постійно опитує контролери (сервери) за циклічним розкладом. **Сфера застосування:** локальні АСУ ТП, промислова автоматизація, збір даних із простих датчиків, щитових приладів чи систем клімат-контролю. Не рекомендований для великих розподілених енергосистем через відсутність міток часу на джерелі події.

МЭК 60870-5-104 (ІЕС 60870-5-104) - міжнародний стандарт, створений спеціально для телемеханіки та передачі даних в електроенергетиці через мережі TCP/IP (порт 2404). Способи передачі «за запитом» та «за спонтанною зміною» (спорадично). Пристрій нижнього рівня

сам надсилає дані в ОІК лише тоді, коли аналогова величина змінилася на задану величину або дискретний сигнал змінив стан. Сфера застосування: диспетчеризація електричних мереж, зв'язок між підстанціями та центральним ОІК, системи телемеханіки великих територіально розподілених об'єктів.

МЭК 61850 (IEC 61850) – найсучасніший стандарт для автоматизації підстанцій («Цифрова підстанція»). Використовує кілька під протоколів (**MMS (Manufacturing Message Specification)** – протокол вертикального зв'язку (клієнт-сервер) для передачі телевимірювань, сигналів та звітів від пристроїв підстанції на верхній рівень ОІК через TCP/IP, **GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events)** – над швидкий горизонтальний зв'язок між самими пристроями РЗА/ПА на підстанції для передачі критичних сигналів блокувань чи відключень напряду за 2–4 мс, **SV (Sampled Values)** – передача оцифрованих миттєвих аналогових сигналів (струму/напруги) від електронних трансформаторів до пристроїв захисту у реальному часі).

Практичні завдання

Завдання 1. До оперативно-інформаційного комплексу центральної диспетчерської підключають нову цифрову підстанцію. З підстанції на комунікаційний сервер ОІК щосекунди мають передаватися:

Телесигналізація (ТС): стан 50 вимикачів та роз'єднувачів (об'єм одного сигналу ТС разом із протокольним заголовком та міткою часу – 15 байт).

Телевимірювання поточні (ТВ): 80 аналогових параметрів (струми, напруги, потужності), які оновлюються 1 раз на секунду (об'єм одного виміру – 20 байт).

1. Розрахуйте загальний об'єм інформації (у байтах), який підстанція генерує та передає на сервер ОІК за одну секунду.

2. Переведіть отримане значення у швидкість потоку даних у **кілобітах за секунду (кбіт/с)**, враховуючи, що 1 байт = 8 біт.

3. Зробіть висновок: чи можна передавати цей потік даних через завадостійкий, але низькошвидкісний радіомодем зі швидкістю каналу 9,6 кбіт/с?

Завдання 2. При дистанційному перемиканні високовольтного вимикача на підстанції його допоміжні контакти через механічну вібрацію видають ефект «брязкання» (швидке замикання й розмикання протягом 15–20 мілісекунд перед тим, як остаточно зафіксуватися). Якщо ОІК фіксуватиме кожен такий сплеск, база даних реального часу буде перевантажена сотнями хибних повідомлень про "аварійне відключення/ввімкнення".

В інженерному софті ОІК для кожного дискретного тегу ТС є параметр **Апаратно-програмний фільтр (Debounce Time)**, що задається в мілісекундах.

1. Яке значення фільтру часу (Debounce Time) доцільно встановити в налаштуваннях ОІК для цього вимикача: 5 мс, 30 мс чи 2000 мс? Обґрунтуйте вибір кожного варіанту (чому інші два є помилковими).

2. Опишіть, що станеться в системі ОІК (і що побачить диспетчер), якщо цей фільтр взагалі вимкнути (виставити 0 мс).

Завдання 3. Необхідно розробити структуру оперативно-інформаційного комплексу для великої вузлової підстанції 330 кВ. ОІК має безперервно збирати дані, зберігати архіви за останні 5 років, відображати схему підстанції на моніторах двох диспетчерів (АРМ-1 та АРМ-2) та передавати зведену інформацію у вищу диспетчерську (НЕК "Укренерго"). Система повинна працювати навіть у разі виходу з ладу будь-якого одного сервера чи обриву магістрального кабелю. Накресліть структурну схему або опишіть текстово склад і зв'язки елементів цього ОІК.

Тема 10. АСУ ТП в системах електропостачання

Мета заняття: вивчити архітектуру, специфіку функціонування та принципи інтеграції АСУ ТП в електричних мережах, а також опанувати методи автоматизованого контролю, захисту та оперативно-диспетчерського управління процесами розподілу й споживання електроенергії в режимі реального часу.

Короткі теоретичні відомості

1. Характеристика АСУ в енергетичній галузі та рівні НЕК «Укренерго»

Енергетична галузь є безперервним технологічним комплексом, де виробництво, передача та споживання електроенергії відбуваються одночасно. Тому АСУ працюють у жорсткому режимі реального часу.

Ієрархія управління енергосистемою України складається з таких основних рівнів:

1. **Верхній рівень (загальнодержавний):** НЕК «Укренерго» як оператор системи передачі (ОСП). Координує роботу всієї Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, контролює міждержавні перетоки та забезпечує баланс між генерацією та споживанням.
2. **Регіональний рівень:** регіональні диспетчерські центри (РДЦ) та оператори систем розподілу (ОСР/Обленерго). Керують магістральними та розподільчими мережами регіонів.

Об'єктовий рівень: АСУ ТП конкретних електростанцій (ТЕС, ГЕС, АЕС, ВЕС/СЕС) та підстанцій (ПС 35 ÷ 750 кВ).

Найважливішою частиною систем керування електричними мережами є система керування рівня підстанції - АСУ ТП ПС. Комплекс технічних засобів (КТЗ) АСУ ТП ПС повинен забезпечувати збір технологічних даних про роботу системи, передачу їх на верхній рівень диспетчерського керування (диспетчерський центр), передавати ці дані на автоматизоване робоче місце (АРМ) оперативного персоналу підстанції. Також можливе виконання функцій керування технологічним процесом.

2. Інформаційні системи рівня об'єднаної енергосистеми та НЕК

«Укренерго»

Завдання цього рівня – автоматизація диспетчерського керування магістральними електричними мережами (МЕМ) і енергосистемою (ЕС), автоматизація роботи чергового ПС і роботи технічних служб підприємства.

Основні функції системи

- збір, верифікація, обробка оперативних параметрів, одержаних від систем телемеханіки;
- архівування зібраної інформації;
- діагностика стану пристроїв телемеханіки й каналів зв'язку;
- підтримка функціонування диспетчерського щита;
- відображення однолінійних схем телемеханізованих ПС з урахуванням стану комутаційних апаратів відносно до схеми нормального режиму мережі на моніторах АРМ;
- ведення схеми комутації мережі (СНР);
- ведення добової відомості;
- розрахунок режимів електричної мережі;
- сигналізація нештатних ситуацій;
- ведення оперативних заявок;
- планування режимів;
- введення інформації з файлів і макетів;
- масштабування планшетів ПС;
- швидка навігація в графічному інтерфейсі системи, у т.ч. швидка навігація до об'єкту, на якому відбулася подія;
- обчислення розрахункових втрат, побудова балансів споживання в різних розрізах;
- дорозрахунок нетелевимірюваних величин;
- ручне введення значень параметрів ТС, ТВ;
- автоматизоване, ручне й табличне введення планових значень;
- забезпечення зв'язку з суміжними системами.

- АСДУ мереж 500-750 кВ (диспетчерський центр НЕК «Укренерго»)
також має групу функцій економічних розрахунків.

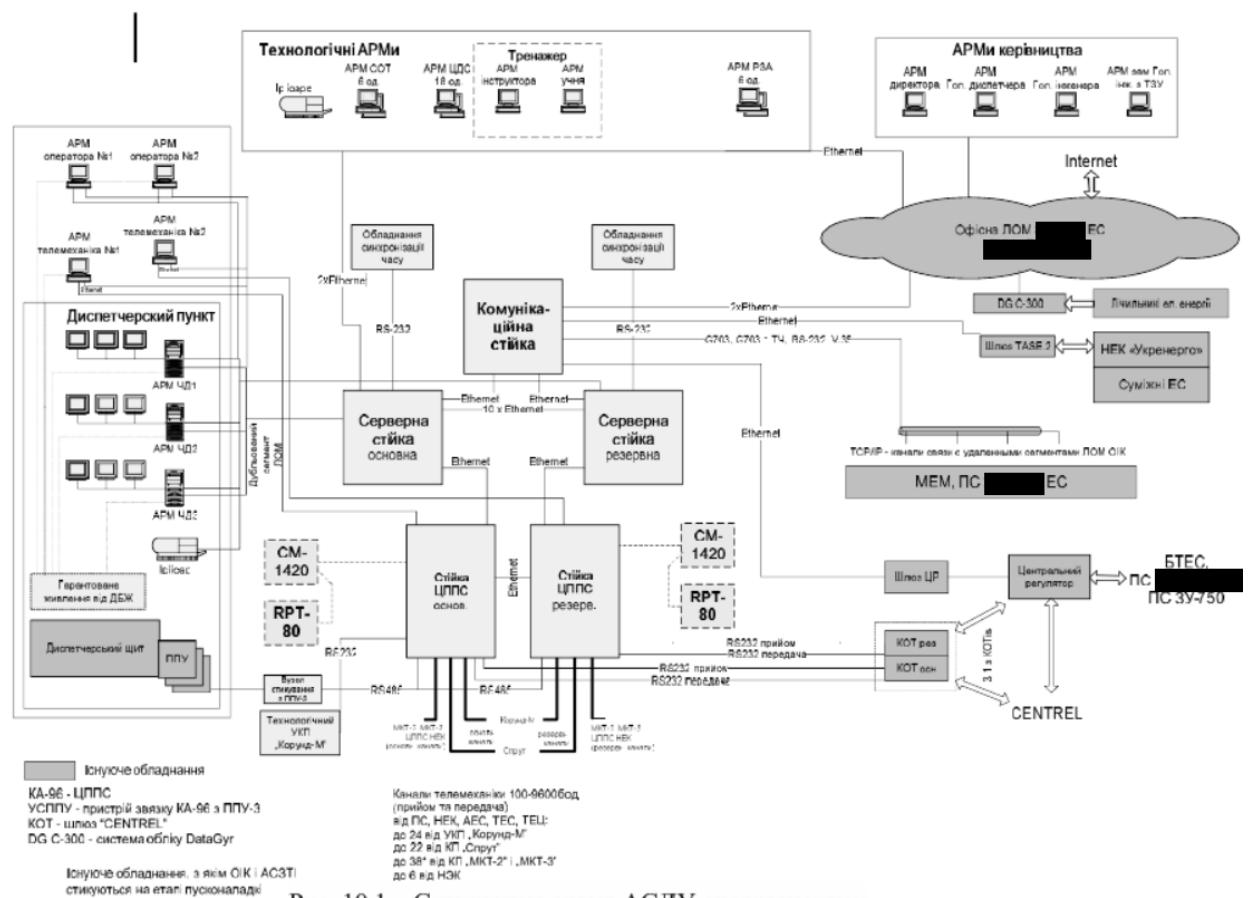


Рисунок 10.1 – Структурна схема АСДУ енергосистеми

3. Автоматизовані системи управління електричних мереж

Для високовольтних підстанцій існують вимоги до обсягу та якості інформації, що збирається з датчиків: положення комутаційних апаратів повинні опитуватися контрольованим пунктом (КП) 8 разів у секунду, значення фазних струмів, фазних/лінійних напруг, активної й реактивної потужності, частоти повинні опитуватися 1 раз на секунду (для сигналів перетоків потужності по ПЛ 110-750 кВ). Передані на верхній рівень дані повинні забезпечуватися мітками часу, телевимірювання повинні мати розрядність не менше 12 біт, тому де-факто стандартним телемеханічним протоколом передавання є МЕК 61870-5- 101, а телемеханічні канали зв'язку повинні мати швидкість 2400 - 9600 бод, тобто на порядок вище традиційних ВЧ-ущільнених каналів (40 - 600 бод).

Представлена на рис. 10.2 структурна схема являє приклад реалізації КТЗ АСДУ ПС на базі універсального контрольованого пункту телемеханіки (УКП ТМ) «Корунд-М» та цифрових вимірювальних перетворювачів, що підтримують цифровий інтерфейс RS-485 та протокол Modbus.

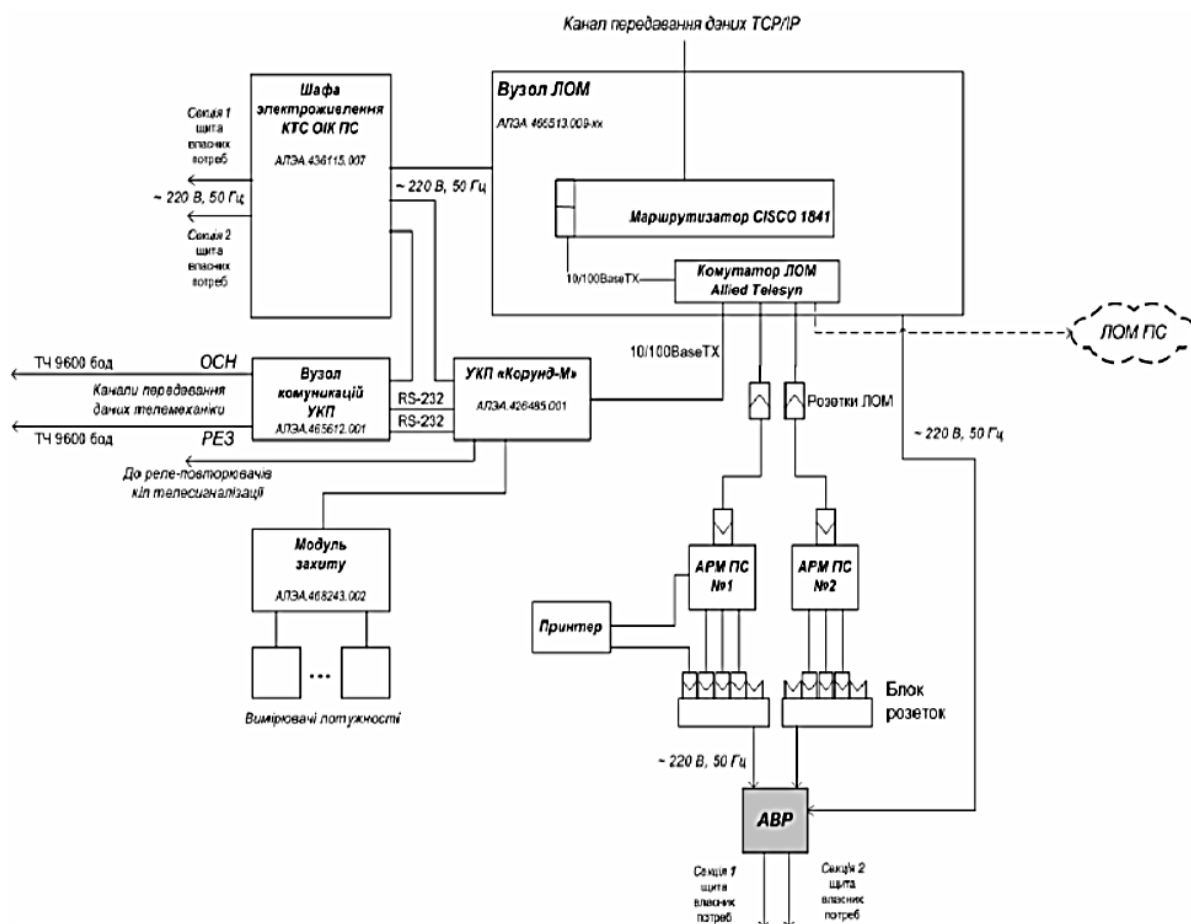


Рисунок 10.2 – Структура КТР

Тенденція до інтеграції різних мікропроцесорних систем і технічних засобів підстанцій і зростаючі запити диспетчерської та інших служб до кількості і якості одержуваної на ПС інформації визначають вимогу до можливості стикування КТЗ АСДУ з мікропроцесорними засобами релейного захисту й автоматики, реєстраторами аварій, у найближчому майбутньому - із пристроями неруйнуючого контролю й діагностики силового встаткування під навантаженням, а також можливість обміну інформацією з локальною

комп'ютерною мережею підстанції з умовою забезпечення розмежування доступу й безпеки роботи засобів АСДУ.

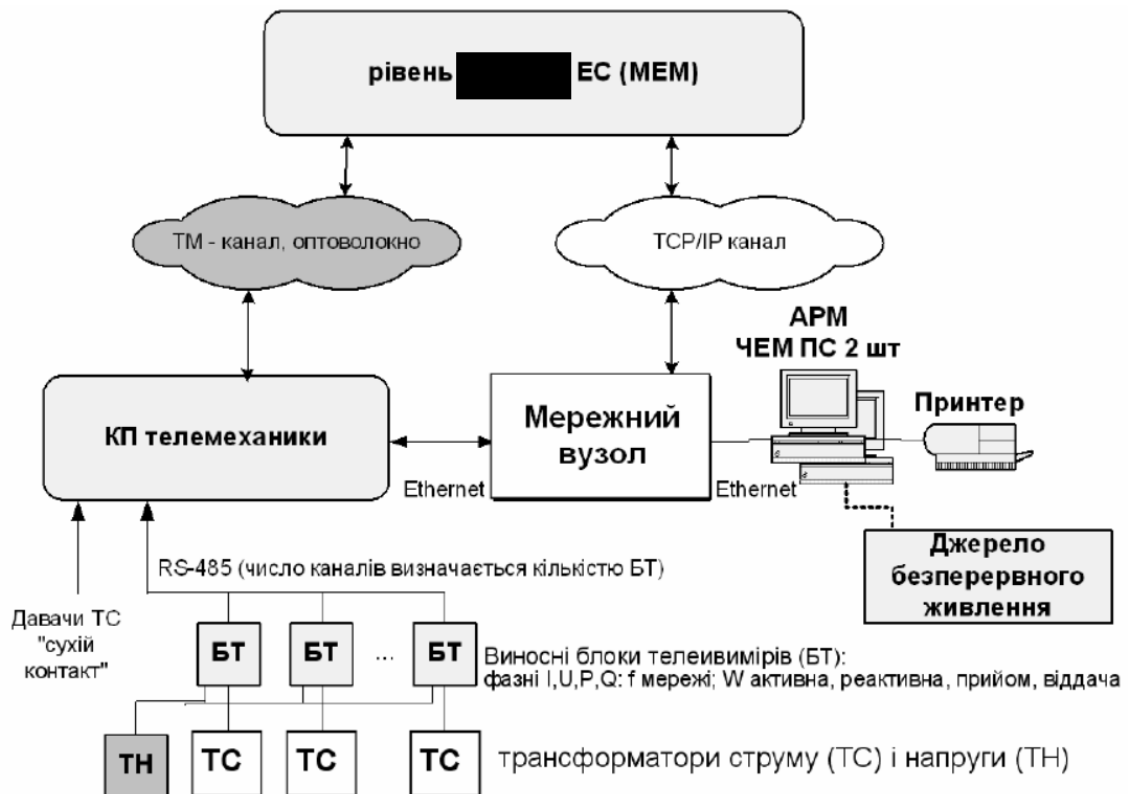


Рисунок 10.3 – Структурна схема КТЗ рівня підстанції

Існує міжнародний стандарт МЕК 850 (IEC61850), який визначає способи з'єднання усіх мікропроцесорних приладів на підстанції в одну мережу на базі ЛОМ Ethernet та стека протоколів TCP/IP.

Програмне забезпечення для керування технологічними процесами, на базі якого створюють системи керування конкретними об'єктами, має загальну назву SCADA/HMI (Supervisory Control And Data Acquisition/Human-Machine Interface), тобто система збору даних та диспетчерського керування / людино-машинна взаємодія .

Приклади таких систем: Intellution iFIX, AdAstra TraceMode, Klinkmann InTouch, Iconics Genesis32, ABB MicroSCADA, Siemens SICAM, Siemens Simatic.

До складу входять:

- база даних реального часу (БД РЧ),
- драйвери введення-виводу сигналів телемеханіки,
- тривожна сигналізація,
- підтримка ЛОМ,
- інтерфейс користувача на клієнтських місцях, у тому числі відображення мнемосхем підстанцій та мережі;
- безпека й регламентація доступу, захист даних,
- двійкова історія (ретроспектива) сигналів,
- підсистема розробки (редактори мнемосхем, БД РВ та ін.).

4. Автоматизовані системи диспетчерського керування Автоматизовані системи диспетчерського управління району електричних мереж

Завдання і функції АСДУ

–Збір ТС (положення вимикачів, стан захистів), ТВ (напруги, струми, потужності), їхня ретрансляція в інші РЕМ та на верхній рівень, архівування ТС (спорадичне) та ТВ (циклічне).

–Видача ТУ.

–Відображення ТС на мнемощиті та АРМ диспетчера РЕМ, тривожна сигналізація.

–Ведення схеми комутації й ремонтних схем ПС, РП, ТП.

–Ведення журналу подій.

–Ведення поопорних схем.

–Автоматизація документообігу.

Структурна схема (2 рівні)– дивись рис. 10.4.

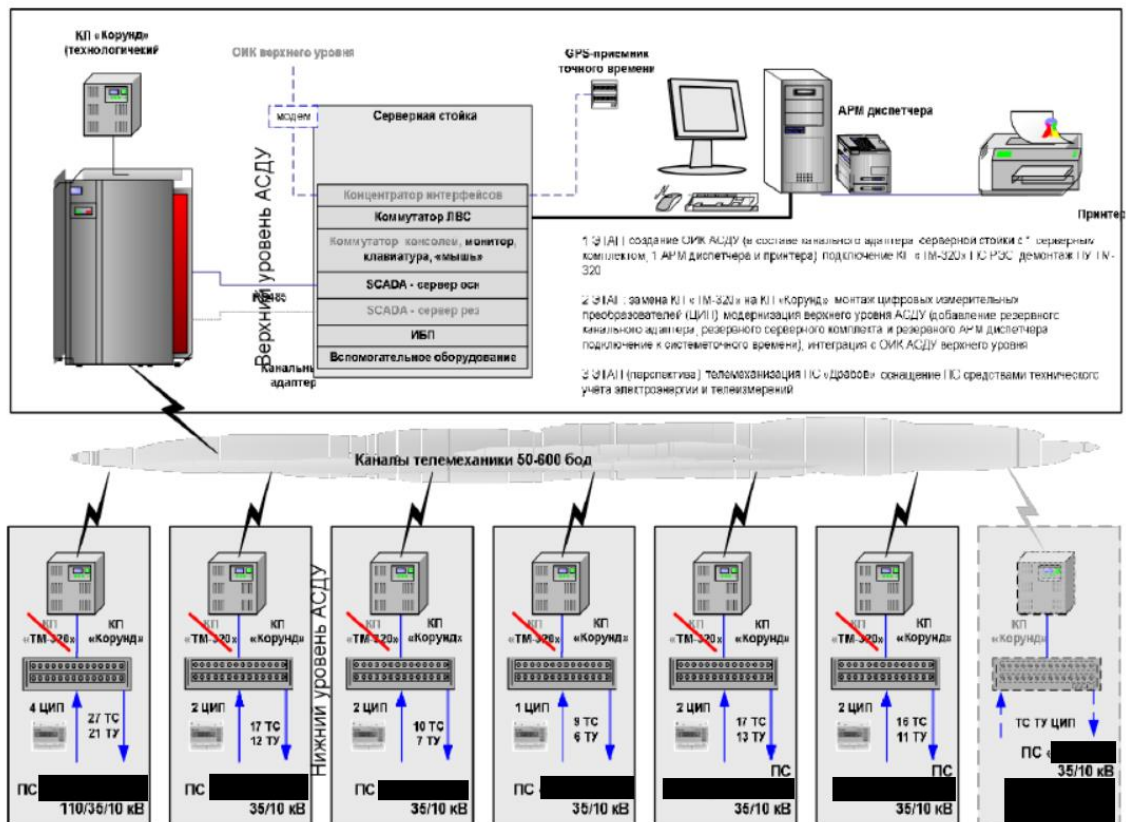


Рисунок 10.4 – Структурна схема АСДУ РЕМ

Рівень ПС складається з КП ТМ (RTU – Remote Terminal Unit) із платами (модулями) ТС, ТВ, ТУ, ланцюгів телесигналізації, ланцюгів телеуправління (включаючи блоки проміжних реле) а також цифрових вимірювальних перетворювачів на приєднаннях 35 кВ.

Рівень РЕМ складається з ПУ ТМ (Front-End), серверної стійки з GPS-приймачем для синхронізації часу і АРМ диспетчера РЕМ з принтером. SCADA-сервер виконує обробку та накопичення даних, АРМ диспетчера забезпечує інтерфейс диспетчера з системою. Передбачено 1 резервний/технологічний УКП телемеханіки для перевірки відремонтованих модулів, а також джерело безперервного живлення в складі стійки. Модем забезпечує зв'язок з верхнім рівнем.

Канали зв'язку - радіоканали 1200-2400 бод, дротяний зв'язок із частотним ущільненням 100 бод, у майбутньому – супутникові та GPRS-канали,

Апаратура: Мікродат, Енергетик, ТМ-120, Граніт на ПС, КА-96 в РЕМ.

***Автоматизовані системи диспетчерського управління рівня
підприємства електромереж і обленерго***

Завдання й функції АСДУ:

- Збір ТС (положення вимикачів, стан захистів), ТВ (напруги, струми, потужності) і їх ретрансляція в інші РЕМ та на верхній рівень, прийом ретрансляції сигналів з підпорядкованих РЕМ та сусідніх обленерго
- архівування ТС (спорадичне) та ТВ (циклічне)
- Видача ТУ
- Відображення ТС на мнемощиті й АРМ диспетчера РЕМ, тривожна сигналізація
- Ведення схеми комутації й ремонтних схем ПС, РП, ТП
- Достовіризація ТС і ТВ, дорозрахунок, інтегрування потужності, ведення балансів потужності й енергії
- Ведення поопорних схем
- Автоматизація документообігу

Структурна (2 рівні) схема наведена на рис. 10.5.

Рівень ПС складається з КП телемеханіки (RTU) із платами (модулями) ТС, ТВ, ТУ, ТВІ, ланцюгів телесигналізації, ланцюгів телеуправління (включаючи блоки проміжних реле) а також цифрових вимірювальних перетворювачів на приєднаннях 35 і 110 кВ. На підстанціях, що обслуговують, може бути встановлений АРМ чергового ПС.

Загальна кількість ТС і ТВ у системі – близько 1000. Рівень обленерго складається з:

- ПУ ТМ (ЦППС) – як правило, дубльований з метою підвищення надійності роботи серверного устаткування, у тому числі серверної стойки з GPS- приймачем для синхронізації часу. Серверне устаткування, як правило, дубльоване і працює в паралельному режимі. SCADA-сервер (основний та резервний) виконує обробку та накопичення даних. Електричне живлення

стійки – через джерело безперервного живлення. Забезпечується зв'язок з верхнім рівнем через маршрутизатор.

– 2 АРМ диспетчера з принтером. АРМ диспетчера забезпечує інтерфейс диспетчера з системою. Також до складу системи входить АРМ телемеханіка для контролю роботи ПУ та каналів зв'язку, а також АРМ програміста для супроводження системи.

– є резервний/технологічний УКП телемеханіки для перевірки модулів.

Канали зв'язку - радіоканали 1200-9600 бод, дротяний зв'язок із частотним ущільненням 100-600 бод, супутникові та GPRS-канали.

Апаратура: Граніт, Граніт-Мікро, ТМ-800В, Корунд-М, ТМ-320 на ПС

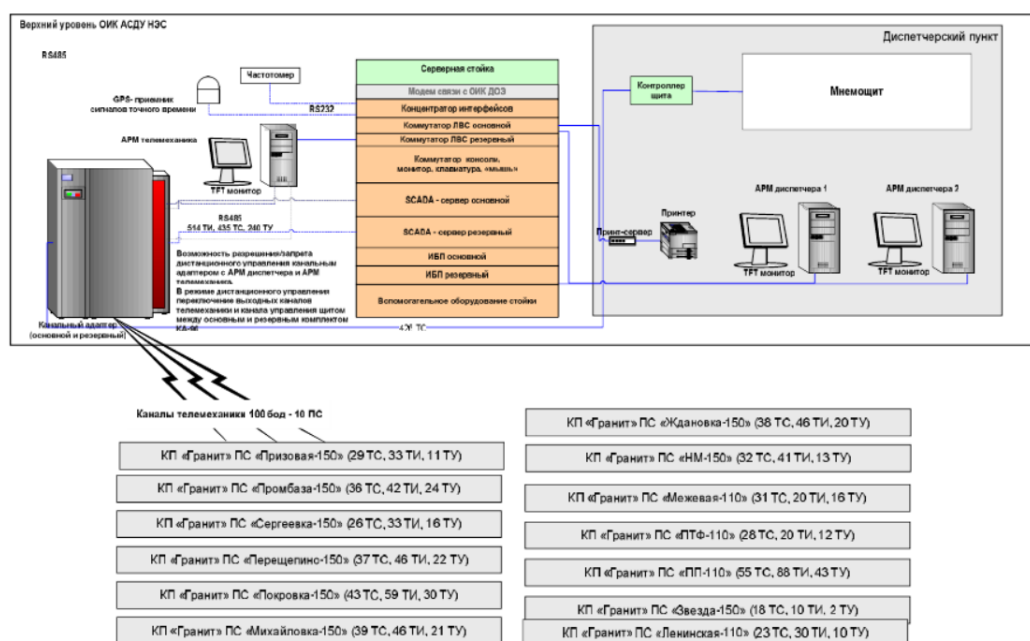


Рисунок 10.5 – Структурна схема АСДУ ПЕМ

Практичні завдання

Проаналізуйте поточний стан автоматизації, архітектуру побудови системи та надійність передачі даних від первинного обладнання підстанцій до центрального диспетчерського пункту, спираючись на надані структурні схеми (рис. 10.1-10.5). Дайте відповіді на такі інженерні питання:

1. Нижній рівень та збір первинних даних (за Рисунком 10.3): Опишіть, як саме параметри електричної мережі (струм і напруга) та стан

комутаційного обладнання трансформуються в цифрові сигнали. Вкажіть, які типи первинних датчиків для цього застосовуються, через які виносні блоки та за якими інтерфейсами зв'язку ці дані потрапляють до Контрольного пункту (КП) телемеханіки.

2. Аналіз інформаційного об'єму та швидкодії (Рис. 10.4-10-5): Охарактеризуйте проміжний рівень розподіленої мережі підстанцій. Проаналізуйте інформаційну ємність системи: вкажіть, які типи КП («Корунд» чи «Граніт») задіяні на схемах, які швидкості передачі даних (у бодах) вони підтримують та які підстанції є найбільш навантаженими за кількістю сигналів телесигналізації (ТС) та команд телекерування (ТУ).

3. Обробка та візуалізація на верхньому рівні (Рис. 10.1 та 10.4): Опишіть шлях сигналів після того, як вони пройшли канали телемеханіки й потрапили на диспетчерський пункт. Поясніть, які технічні засоби серверної стійки відповідають за приймання та обробку цієї інформації, за допомогою якого обладнання забезпечується єдиний точний час у системі, та на яких робочих місцях (АРМ) чи засобах колективного відображення диспетчер бачить кінцевий результат.

4. Забезпечення надійності та інтеграція (Рис.10.1): Проаналізуйте, як у цій архітектурі реалізовано захист від технічних збоїв («гаряче резервування»). Перелічіть блоки, шафи чи стійки, які повністю продубльовані на випадок аварії. Опишіть, яким чином цей локальний оперативно-інформаційний комплекс взаємодіє з іншими рівнями - керівництвом підприємства, суміжними енергосистемами та вищим рівнем управління (НЕК «Укренерго»).

Список джерел

1. 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. – 150 с.
2. Черемісін М.М., Зубко В.М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням: Посібник. – Харків: Факт, 2005.
3. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. Аграрна освіта, 2010.- 557 с.
4. Промислові мережі: теорія і практика застосування протоколів та інтерфейсів: навч. посібник / І.Г. Лисаченко [та ін.]; Харківський політехнічний ін-т, нац. тех. ун-т.- Харків: Підручник НТУ “ХПІ”, 2016- 176 с.
5. Телемеханіка і АСУ систем електропостачання. Конспект лекцій для ЗВО 1м курсу спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" денної і заочної форм навчання освітнього ступеня «Магістр» / Укладачі Кравченко В.О., Лисенко В.В. - Суми, СНАУ, 2024. – 124 с.
6. Телемеханіка і АСУ систем електропостачання: Методичні вказівки до самостійної роботи / укл.: Кравченко В.О., Лисенко В.В., Тимошенко Г.А. - Суми, СНАУ, 2026. – 96 с.

Кравченко Володимир Олексійович

Мороз Костянтин Вікторович

Лисенко Віта Василівна

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Методичні вказівки до практичних занять

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: _____2026 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. _____
