

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

Інженерно-технологічний факультет

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Конспект лекцій

СУМИ – 2024

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

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

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»**

СУМИ – 2024

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

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

Кравченко В.О., Лисенко В.В.

К77 Телемеханіка і АСУ систем електропостачання : конспект лекцій / В.О.Кравченко, В.В.Лисенко. - Суми, 2024. – 124 с.

В конспекті лекцій розглянуто матеріал, вивчення якого передбачається програмою дисципліни «Телемеханіка і АСУ систем електропостачання». Розглянуто основні поняття дисципліни, пристрої, які використовуються в телемеханічних системах, застосування телемеханіки в енергетичній галузі. Конспект лекцій призначений для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензенти:

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

Лобода В.Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол №6 від «22» травня 2024 року

Зміст

Тема 1. Роль телемеханіки і АСУ в управлінні виробничими процесами..	6
Тема 2. Загальні положення телемеханіки в електроенергетиці.....	14
Тема 3. Телемеханічні повідомлення та їх характеристики.....	28
Тема 4. Елементи та вузли пристроїв телемеханіки.....	45
Тема 5. Передавання сигналів у телемеханічних системах.....	66
Тема 6. Основи автоматизованих систем управління.....	82
Тема 7. Побудова АСУТП на основі принципів телемеханіки.....	101
Тема 8. Автоматизовані системи управління в енергетиці.....	112
Список використаних джерел.....	121

Тема 1. Роль телемеханіки і АСУ в управлінні виробничими процесами

1. Роль телемеханіки і АСУ в електропостачанні
2. Функції телемеханіки
3. Основні завдання телемеханіки та АСУ.
4. Тенденції розвитку телемеханіки і АСУ

1. Роль телемеханіки і АСУ в електропостачанні

Телемеханіка (від теле... і механіка) - галузь науки і техніки, предметом якої є розробка методів і технічних засобів передачі і прийому інформації (сигналів) з метою управління і контролю на відстані.

Поняття «телемеханіка» поєднує слова: «теле», що означає далечінь, віддаленість та «механіка», що означає майстерність, уміння, управління.

Специфічними особливостями телемеханіки є:

- віддаленість об'єктів контролю та управління;
- передача сигналів з постійними і змінними складовими і дуже повільно змінних даних;
- необхідність високої точності передачі вимірюваної величини (до 0,1%);
- недопустимість великої затримки сигналів, можливість передача даних в режим реального часу;
- висока надійність передачі команди управління (імовірність виникнення невірної команди повинна бути не більше 10^{-6} - 10^{-10});
- високий ступінь автоматизації процесів збору та використання інформації;
- централізованість переробки інформації.

Телемеханізація застосовується тоді, коли необхідно об'єднати роз'єднані або територіально розосереджені об'єкти управління в єдиний виробничий комплекс (наприклад, при управлінні газо- і нафтопроводом, енергосистемою, же. -д. вузлом), або коли присутність людини на об'єкті управління небажано (наприклад, в атомній промисловості, на хімічних підприємствах) або неможливо (наприклад, при управлінні непілотованою ракетою).

Впровадження телемеханічних систем дозволяє скоротити чисельність обслуговуючого персоналу, зменшує простой устаткування, звільняє людину від роботи в шкідливих для здоров'я умовах.

Сучасні засоби телемеханіки швидше відносяться до галузі науки і техніки, яку називають інформаційними технологіями. Дійсно, основне завдання телемеханіки полягає в передачі інформації від об'єкту, де вона формується до центру, що здійснює управління об'єктом. Можливе і зворотне завдання, інформація, що управляє, від центру передається для виконання на об'єкті.

Технічні засоби передачі інформації складаються з обчислювальних комплексів і засобів зв'язку. Разом з цим, слід зауважити, що в сучасних електроенергетичних системах і системах електропостачання споживачів

телемеханіка грає помітну роль, передусім як система, що забезпечує спостереження за енергосистемою.

Особливого значення телемеханіка набуває у зв'язку із створенням автоматизованих систем управління (АСУ). Обробка даних, отриманих по каналах телемеханіки, на ЕОМ дозволяє значно поліпшити контроль за технологічним процесом і спростити управління. Тому нині замість поняття "телемеханіка" все частіше і частіше використовується скорочення АСУТП - автоматизована система управління технологічним процесом. Сучасна система телемеханіки також немислима без комп'ютера, тому можна сказати, що телемеханіка і АСУТП – ідентичні поняття. Різниця між цими поняттями є лише за часом появи і за традицією використання. Наприклад, в енергетиці вважають за краще використати слово *телемеханіка*, на промислових підприємствах - *АСУТП*.

У англomовних джерелах аналогом поняття "телемеханіка" є скорочення SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерське управління і збір даних, в яке вкладається, по суті, той же сенс.

Завдяки утворенню об'єднаної енергосистеми (ОЕС) досягають зниження встановленої потужності, кращого використання гідроресурсів та палива, можливості використання потужних агрегатів та електростанцій, підвищення надійності електропостачання споживачів внаслідок взаємодопомоги енергосистем (ЕС) в аварійних ситуаціях та маневрування енергоресурсами за нормальних умов.

ОЕС містить значну кількість взаємопов'язаних об'єктів електроенергетики, розосереджених по всій території України і розташованих на значних відстанях один від одного. Тому, для централізованого дистанційного керування технологічними процесами генерування, розподілення та споживання електроенергії у реальному часі, необхідно застосовувати засоби телемеханіки.

Електроенергетична система у порівнянні з іншими енергосистемами (наприклад, газо- та водопостачання) є найскладнішою та найрозгалуженішою. Режим роботи всіх об'єктів ОЕС мають бути узгодженими між собою та перманентно забезпечувати спільні показники роботи системи загалом: електроенергетичний баланс, високу якість електроенергії, надійність тощо.

Розбалансування енергосистеми України спричиняє аварійні ситуації, пошкодження виробничого устаткування, масове бракування продукції та значні економічні збитки від вимушених простоїв.

Підвищені вимоги до енергосистеми щодо кількості та якості вироблюваної енергії та надійності електропостачання можуть бути задоволені лише у разі високої організації процесу управління на базі сучасних засобів телемеханіки, пристроїв автоматики та релейного захисту, а також узгоджених дій персоналу диспетчерських пунктів та центрів керування, обладнаних засобами передавання, оброблення та відображення оперативної інформації.

2. Функції телемеханіки

Як і для будь-якої складної системи передавання даних, функції систем телемеханіки поділяють на кілька незалежних рівнів. Рівні, що розміщено нижче виконують функції обслуговування, рівні, розміщені вище є головними, з якими даний рівень обмінюється інформацією та оповіщає про помилку.

Зазвичай кожен функціональний рівень пов'язаний з відповідним рівнем на іншій стороні каналу зв'язку.

Функції систем телемеханіки поділяють на наступні рівні (Модель ISO):

- функції користування (рівень 7);
- функції оперативного оброблення та відображення даних (5–6 рівні);
- функції транспортування даних, включає всі рівні передавання – фізичний, каналний та мережевий (рівні 1-4).

Основні функції користувача пристроїв телемеханіки в енергосистемах:

1) Телеконтроль (telemonitoring) – спостереження за станом контрольованих процесів та устаткування. Складовими телеконтролю є:

а) телевимірювання (ТВ, telemetering) – передавання по каналах зв'язку значень параметрів контрольованих процесів, що постійно змінні в часі (потужності, напруги, струмів тощо). Телевимірювання проводять або безперервно, або за викликом диспетчера. Розрізняють передавання всіх періодичних відліків ТВ (циклічне передавання) або ж передавання лише змінних значень (адаптивне).

Контрольований ТВ параметр можна характеризувати поточним миттєвим або інтегральним значенням за певний проміжок часу. Відповідно застосовують терміни: "телевимірювання поточних значень" (ТПЗ) та "телевимірювання інтегральних значень" (ТІЗ).

б) телесигналізація (ТС, teleindication) – передавання дискретних сигналів щодо стану контрольованого устаткування (положення вимикачів потужності, роз'єднувачів, уставок автоматики тощо).

Передавання ТС здійснюють або дискретно – під час зміни стану контрольованого об'єкту, або циклічно – безперервно з підтвердженням раніше визначеного стану. У більшості випадків ТС – це передавання однієї з двох позицій об'єктів (увімкнено/вимкнено).

2) Телеуправління, телекерування (ТУ, ТК, telecomand) – передавання каналами зв'язку команд від диспетчера (оператора) до комутаційних пристроїв (вимикача потужності, роз'єднувача, контактора тощо) для зміни положення оперативного устаткування. Якщо оперативне устаткування має більше, ніж два стани, то телеуправління станом цього устаткування називають телепристроєм.

3) Телерегулювання (ТР, teleregulation) – передавання керуючих впливів типу «додати-зменшити» від диспетчера до регулятора на контрольованому пункті.

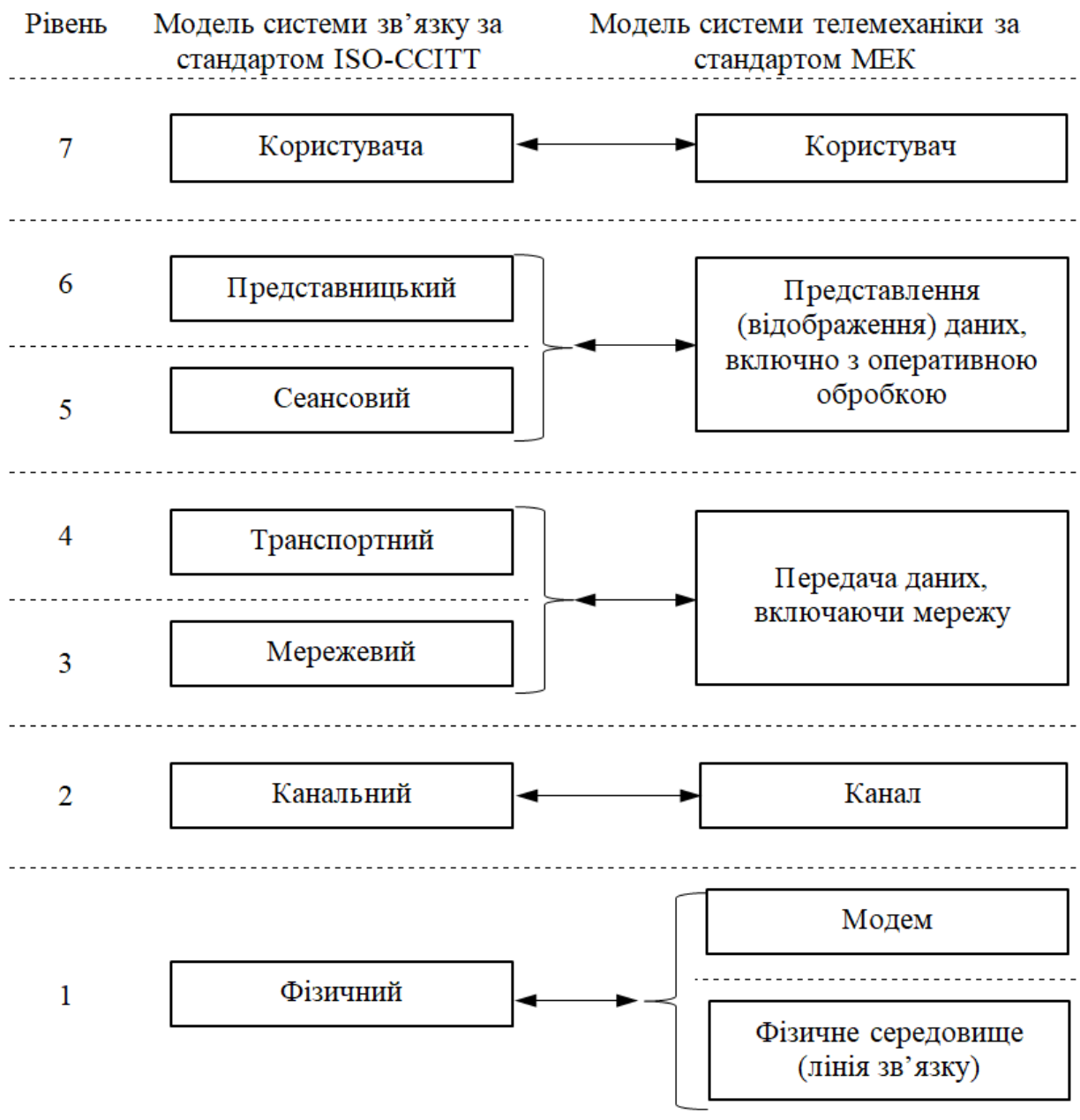


Рисунок 1.1 – Порівняння рівневих структур моделей загального зв'язку (за ISO-CCITT) та системи телемеханіки за стандартом МЕК

Вторинні функції користувача

Вторинні функції користувача призначені для забезпечення оператора (диспетчера) інформацією, зручною для використання. Ці функції не завжди чітко визначені, тому що їх склад залежить від можливостей приймальних пристроїв ТМ з обробки даних основної інформації (ТІ, ТС і т. п.). Вторинні користувальницькі функції можуть виконуватися як власне мікропроцесорними ПТМ, так і окремою міні-або мікроЕОМ. Обсяг функцій, що виконуються ПТМ, залежить від обсягу пам'яті та наявності відповідного програмного забезпечення.

Типові вторинні функції користувача:

підсумовування ТІ та утворення узагальнених сигналів ТЗ автоматично або за завданням диспетчера,

вказівка меж контрольованих параметрів, автоматична реєстрація подій із зазначенням часу;

контроль каналів зв'язку та пристроїв ТМ з реєстрацією помилок та несправностей;

оцінка стану контрольованого процесу у реальному часі, формування графіків планових та поточних значень контрольованих параметрів;

формування оперативних схем та форм подання інформації на екранах дисплея із зазначенням поточних значень інформації ТІ та ТС; забезпечення діалогу оператор-система ТМ.

Функції оперативної обробки сигналів

Ця група функцій охоплює обробку сигналу входу виходу на КП і ПУ з метою підвищення ефективності і надійності виконання користувальницьких функцій. До типових функцій оперативної обробки відносяться:

забезпечення заданого інтерфейсу сигналів входу виходу між ПТМ та контрольованим процесом на КП та ПТМ та людиною-оператором на ПУ (ДП), включаючи фільтрацію вхідних сигналів від дії перешкод, брязкоту контактів реле та ключів датчиків інформації;

формування сигналів початку передачі (наприклад, за зміни стану контрольованих об'єктів);

захист від помилок датчиків та від перешкод у вхідних та вихідних ланцюгах ПТМ;

стиснення даних на вході та виході ПТМ;

подання сигналів виходу у формі, зручній для відображення на рівні користувача (на щиті, дисплеї, пульті тощо).

Застосування мікропроцесорних систем ТМ надає широкі можливості щодо виконання оперативної обробки інформації на енергооб'єктах та по раціональному розподілу функцій обробки між ПУ та КП з метою розвантаження центральних станцій ТМ та ЕОМ ОВК на диспетчерських пунктах, підвищення достовірності переданої від енергооб'єктів інформації.

Функції передачі (транспортування) повідомлень

Відповідно до основного призначення систем телемеханіки в енергетиці - контроль та управління процесами виробництва та розподілу електроенергії на відстані - функції передачі повідомлень між контрольованими та контролюючими станціями є визначальними у всій системі телемеханіки.

Типові функції надсилання повідомлень, які виконуються на транспортному (включаючи мережу) та нижчих рівнях передачі (рівні 4-1 і в рис. В.2), повинні забезпечувати:

високу достовірність (цілісність) доставки повідомлення по каналах зв'язку в умовах високого рівня перешкод, що викликаються електромагнітним впливом високовольтних ліній електропередачі, комутаційними явищами в

силових ланцюгах тощо;

малий час телепередачі для забезпечення режиму реального часу під час контролю технічного процесу та управління ним;

високу ефективність використання каналів зв'язку за умов обмеженої частотної смуги пропускання каналів.

Головна перешкода для задоволення цих вимог - їх суперечливість: забезпечення високої достовірності передачі даних пов'язане зі збільшенням часу та зниженням ефективності телепередачі. підвищення ефективності шляхом подовження кодових блоків призводить до втрати великого обсягу інформації в умовах підвищеного рівня перешкод і як наслідок - до збільшення часу доставки повідомлень тощо. Тому функції передачі повідомлень повинні забезпечувати розумний компроміс між цими суперечливими вимогами.

На виконання цих вимог кожному рівні передачі повідомлень вирішується своє коло завдань:

на транспортному рівні (включаючи мережу):

поділ повідомлень на блоки, введення короткоформних блоків для передачі екстрених повідомлень;

запровадження пріоритетів передачі та управління цими пріоритетами, поділ даних, що передаються за класами обслуговування (класи діалогових процедур);

забезпечення резервного шляху доставки повідомлення у разі пошкодження основного каналу (маршрутизація повідомлень);

на каналному рівні:

перетворення вхідних сигналів від датчиків у послідовність дискретних сигналів, кодування вихідних сигналів за певним законом з метою забезпечення необхідної перешкоднозахищеності при передачі каналом зв'язку.

декодування сигналів, прийнятих з каналу зв'язку, контроль правильності прийому, виявлення (а іноді і виправлення) помилок, квітування прийнятих повідомлень, синхронізація кадрів;

узгодження смуги частот і рівнів сигналів ПТМ та каналу світла за допомогою модему, формування сигналів передачі та прийому (в канал і з каналу зв'язку), контроль якості сигналу та синхронізація приймача та передавача ПТМ,

Функції фізичного рівня визначаються видом фізичного середовища, що служить передачі сигналів між передавальним і приймальним пристроями ТМ.

3. Основні завдання телемеханіки та АСУ.

До основних завдань телемеханіки належать:

1) Централізація керування об'єктами електроенергетики, які територіально значно розосереджені, але пов'язані єдиним технологічним процесом виробництва та розподілення електричної енергії між споживачами.

2) Робота телемеханічних систем у режимі реального часу – в темпі технологічного процесу (швидкість поширення електромагнітного поля $C=3 \cdot 10^8$

м/с). Тобто система телемеханіки має вносити мінімальне запізнення під час передавання інформації, наприклад:

- для систем автоматичного регулювання частоти і потужності затримка впливів має бути ≤ 1 с;

- для систем телекерування вимикачами потужності – кілька секунд;

- для систем телевідключення – кілька сотих секунди.

3). Надійність і достовірність передавання інформації за умов потужних завад, притаманних, наприклад, високочастотному зв'язку по ЛЕП та радіозв'язку. З цією метою в телемеханічних системах використовують завадозахисне кодування повідомлень, дублювання каналу зв'язку тощо.

4). Ефективність використання каналу зв'язку, що характеризують відношенням кількості вірно переданих біт інформації до загальної кількості біт в повідомленні за 1 секунду. Ефективність можна підвищити методом стискання повідомлень, за зразком архівування інформації у ЕОМ.

5). Забезпечення наочності контрольованого процесу – подання інформації системою телемеханіки диспетчеру у вигляді, що дозволяє швидко реагувати на відхилення режиму від норми.

6) Первинна обробка інформації

7) Самоконтроль, ремонтваність, можливість розширення, сумісність

8) Врахування впливів оточуючого середовища

4. Тенденції розвитку телемеханіки і АСУ

У галузі електроенергетики телемеханіка відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності, безпеки та автоматизації. Ось деякі тенденції її розвитку в цій сфері:

1) Розвиток систем моніторингу та управління, які контролюють стан електромережі, виявляють несправності та забезпечують швидке реагування на них. До їх основних задач можна віднести:

- Моніторинг стану електромережі. Системи виявляють та відстежують параметри мережі, такі як напруга, струм, частота тощо, для вчасного виявлення аномалій чи відхилень від норми.

- Діагностика несправностей. Вони аналізують дані, що надходять з різних точок мережі, для виявлення несправностей, коротких замикань, перенавантажень тощо, та надають операторам інформацію для швидкого реагування.

- Віддалене управління. Ці системи дозволяють операторам віддалено керувати різними частинами мережі, вмикати або вимикати обладнання, регулювати напругу, що допомагає у підтримці оптимальної роботи системи.

- Аналітика даних. Системи виконують збір та аналіз великого обсягу даних з датчиків та приладів, що дозволяє вдосконалювати прогнозування, оптимізувати навантаження, а також планувати обслуговування обладнання для підвищення ефективності.

- Інтеграція з іншими системами. Ці системи інтегруються з іншими системами управління, такими як системи розподілу, контролю за якістю

енергії, системи безпеки тощо, для комплексного керування електромережею.

2) Збільшення автоматизації. Технології телемеханіки дозволяють автоматизувати більше процесів у різних сферах. Системи автоматизованого управління можуть реагувати на надзвичайні ситуації автоматично, зменшуючи час реакції та мінімізуючи можливі наслідки аварій.

3) Дистанційне управління. За допомогою телемеханіки можна віддалено керувати роботою енергетичних систем, регулювати навантаження, вмикати/вимикати електроустаткування та керувати процесами на відстані.

4) Використання даних для прогнозування. Аналіз даних, зібраних за допомогою систем телемеханіки, дозволяє розробляти прогнози споживання енергії, що сприяє оптимізації виробництва та розподілу електроенергії.

5.) Модернізація мереж. Впровадження телемеханіки сприяє модернізації електромережі, забезпечуючи більшу гнучкість, стійкість до перебоїв та можливість швидкої реакції на зміни у мережі.

6) Підвищення енергоефективності. Телемеханіка дозволяє оптимізувати виробництво та розподіл енергії, сприяючи зменшенню втрат та підвищенню загальної енергоефективності систем.

7) Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії. Системи телемеханіки дозволяють краще інтегрувати виробництво з відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова тощо) у загальну електричну мережу.

Тема 2. Загальні положення телемеханіки в електроенергетиці

- 1.Класифікація систем телемеханіки.
- 2.Типові структури.
- 3.Функціональні блоки систем телемеханіки та їх призначення.
4. Канали зв'язку.

1.Класифікація систем телемеханіки.

Системи телемеханіки можна класифікувати за різними ознаками.

1) За методом передачі сигналів:

- Дротові системи – використовують провідники для передачі сигналів, такі як телефонні лінії або ЛЕП.
- Бездротові системи – використовують бездротові канали передачі, наприклад, супутниковий зв'язок або радіохвилі.

2) За призначенням:

- Системи керування: системи, які передають команди для керування пристроями, механізмами або системами.
- Системи моніторингу: системи, які збирають і передають дані про стан об'єкта, системи або процесу.

3) За використанням:

- Промислові: використовуються для керування та моніторингу в промислових процесах, наприклад, автоматизації фабрик.
- Транспортні: використовуються для управління транспортними системами, такими як автомобілі, літаки, кораблі.
- Медичні: використовуються для моніторингу та управління медичними пристроями чи системами у лікарнях та медичних закладах.
- Енергетичні: призначені для керування енергетичними системами тощо.

4) За технологією передачі (видом сигналів):

- Аналогові: використовують аналогові сигнали для передачі даних.
- Цифрові: використовують цифрові сигнали для передачі інформації, вони забезпечують більшу точність і надійність передачі.

5) За обсягом даних, що передаються:

- З малим діапазоном. Системи, які передають обмежену кількість даних на невелику відстань.
- З великим діапазоном. Системи, які передають значну кількість даних на великі відстані, наприклад, супутниковий зв'язок.

6) За видом об'єктів.

Об'єкт телемеханіки – це технологічний процес, технічний пристрій, стан якого контролюється чи керується засобами телемеханіки.

Залежно від характеру технологічних процесів, які у об'єкті, розрізняють такі типи об'єктів контролю та управління.

Неперервні об'єкти, в яких процеси протікають безперервно, і вихідна величина є безперервною. Наприклад, витрата продукту продуктопроводі,

величина пластового тиску в свердловині, рівень нафтопродукту в ємності та інші.

Дискретні об'єкти, у яких процеси протікають дискретно, і вихідна величина є дискретною. Наприклад, положення колійної залізничної стрілки, стан "включено - вимкнено" масляного електричного вимикача та інші.

Дискретно-неперервні об'єкти, у яких у межах дискретного стану технологічні процеси протікають безперервно. Наприклад, електричний двигун у станах «включено – вимкнено» характеризується дискретними станами, а швидкість, що розвивається, в стані «включено» є безперервною складовою.

7) За функціями, що виконуються, і характером переданої інформації телемеханічні системи поділяють на системи:

- телеуправління, які керують обладнанням або цілими виробничими комплексами;
- телесигналізації, що контролюють на відстані стан та положення об'єктів;
- телевимірювання, що контролюють на відстані параметри різних величин (струм, напруга, тиск, швидкість);
- передачі даних, що передають на відстань цифрову та іншу інформацію про роботу виробничих об'єктів для використання її у обчислювальних чи керуючих машинах;
- комбіновані, які поєднують деякі з перерахованих вище систем.

Тип телемеханічної функції, яка реалізується системою телемеханіки, залежить від типу об'єкта. Розрізняють такі типи телемеханічних функцій.

Телемеханічна функція телевимірювання – це передача поточних значень безперервних величин. Застосовується для неперервних об'єктів. Структурну схему системи ТВ представлено на рис. 2.1. Інформація з неперервних датчиків, встановлених на об'єктах, надходить у пристрій контрольованого пункту, далі по лінії зв'язку передається пристрій диспетчерського пункту управління, де відображається за допомогою індикаторів, а також може вводитися в ЕОМ, реєструватися спеціальними приладами. Система ТВ розімкнена.

Окремим випадком системи ТВ є система телеконтролю, у якій індикатор відображає відхилення поточного значення вимірюваної величини від номінального значення (уставки).

Телемеханічна функція телесигналізації (ТС) – це передача поточних значень дискретних величин. Використовується для дискретних об'єктів. Структурна схема системи наведена на рис. 2.2. Інформація з дискретних датчиків, встановлених на об'єктах, надходить у пристрій КП, далі по лінії зв'язку передається пристрій ПУ, де відображається за допомогою індикаторів, а також може вводитися в ЕОМ, реєструватися спеціальними приладами. Система ТС розімкнена.

Телемеханічна функція телеуправління (ТУ) – передача командної інформації змiну стану об'єктів. Використовується для дискретних об'єктів. Структурна схема системи ТУ наведена на рис. 2.3. Команди виробляються диспетчером або ЕОМ, надходять у пристрій ПУ, далі лінії зв'язку передаються

у пристрій КП, де надходять виконання і змінюють стан об'єктів. Система ТУ розімкнена.

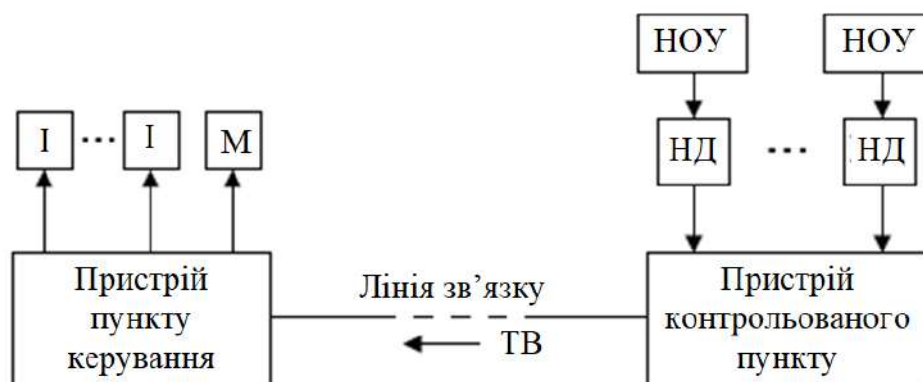


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи телевимірювання:
І – індикатори; М – монітор; НОУ - неперервний об'єкт управління;
НД – неперервний датчик

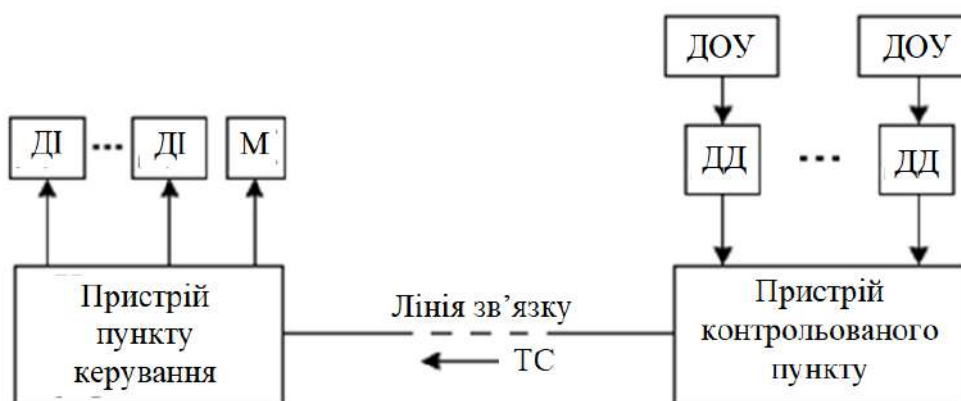


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи телесигналізації:
ДІ – дискретний індикатор; М – монітор; ДОУ – дискретний об'єкт управління;
ДД – дискретний датчик

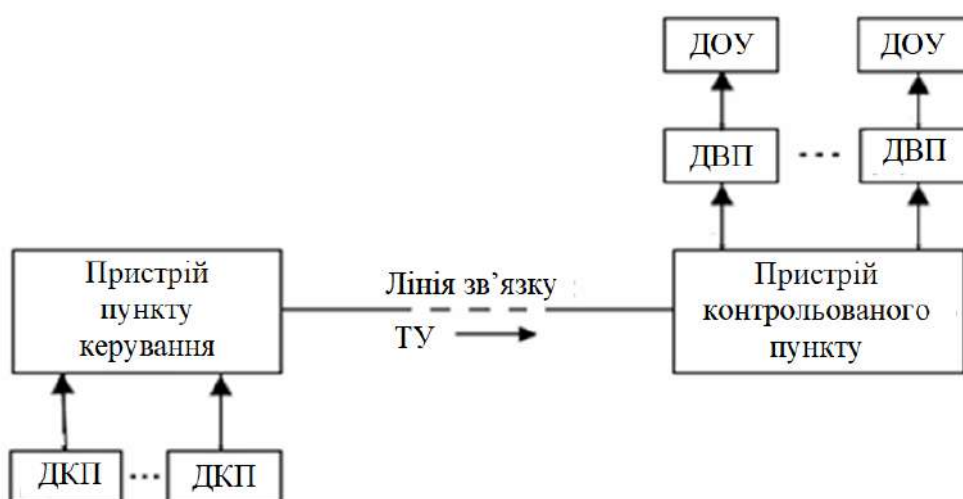


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи телекерування:
ДКП – дискретний командний пристрій; ДОУ – дискретний об'єкт управління;
ДВП – дискретний виконавчий пристрій

Телемеханічна функція телерегулювання (ТР) – це система, яка здійснює передачу командної інформації зміну режиму роботи об'єкта. Застосовується для неперервних об'єктів. Система ТР може бути реалізована в одному з двох варіантів:

- пряме ТР або просто ТР. Схема цієї системи представлена на рис. 2.3 із заміною дискретних командних пристроїв на неперервні та дискретних виконавчих пристроїв, встановлених на об'єктах управління, на неперервні. Система ТР розімкнена;
- телеуправління уставок регулятора (ТУУ). На КП режим роботи неперервного об'єкта управління регулюється локальною системою автоматичного управління (ЛСАУ), у якій безперервна уставка регулятора змінюється за командами з ПУ. Система ТУУ розімкнена, а ЛСАУ – замкнута (рис. 2.4).

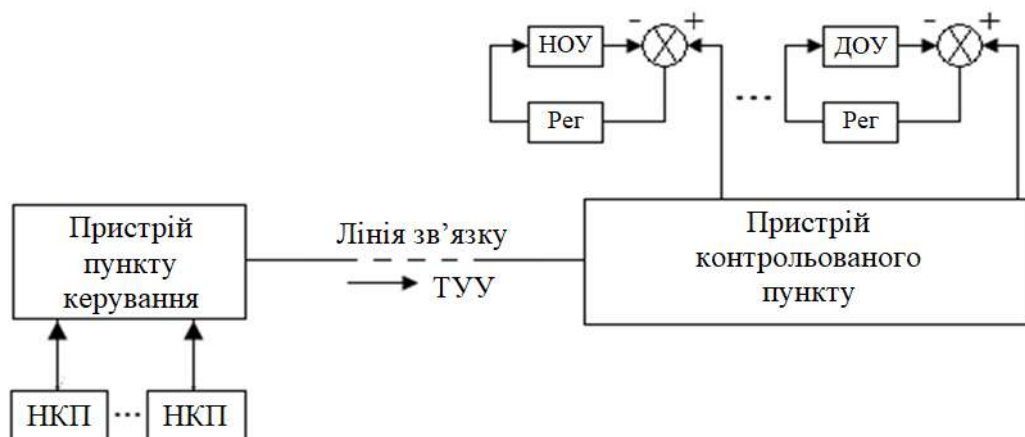


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи телекерування уставок регулятора:

НКП – неперервний командний пристрій; НОУ - безперервний об'єкт управління; Рег – регулятор локальної системи автоматичного керування

Крім однофункціональних систем, що реалізують одну телемеханічну функцію, існують багатофункціональні, у яких виконуються кілька функцій. Наприклад, багатофункціональна система телеуправління та телесигналізації (ТУ-ТС) – система, що дозволяє передавати команди з ПУ на КП (див. рис. 2.3) та отримувати відомчу інформацію про виконання команди, що надсилається з КП на ПУ (див. рис. 2.2). Система ТУ-ТС може замикатися через людину-оператора чи через ЕОМ.

Промислові системи телемеханіки є багатофункціональними, у яких у різних поєднаннях використовуються розглянуті вище основні телемеханічні функції.

2. Типові структури.

Основним завданням телемеханіки є контроль та управління об'єктами на відстані. Розрізняють такі види управління з відривом.

1. Місцеве управління (рис. 2.5). Командний пристрій у вигляді ключа К виробляє команди управління, які по силовій лінії надходять на об'єкт

управління ОУ і змінюють його стан, наприклад шляхом включення або відключення електричного двигуна. Для реалізації цього управління потрібна дорога силова лінія, яка тим дорожча, чим більша відстань і потужність двигуна об'єкта управління, оскільки потрібний більший переріз кабелю силової лінії.

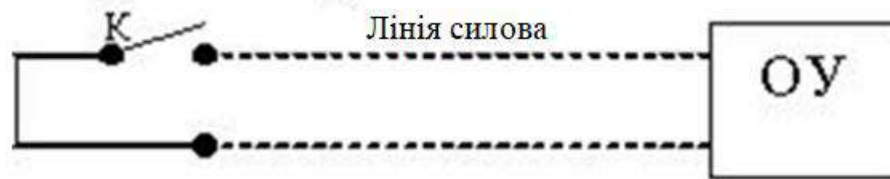


Рисунок 2.5 – Структурна схема місцевого управління:

К - ключ управління; ОУ – об'єкт управління; джерело живлення не показано

2. Дистанційне керування (рис. 2.6). Воно відрізняється від місцевого управління тим, що замість силової лінії використовується лінія зв'язку спільно з підсилювачем релейним потужності Р для управління електричним двигуном об'єкта управління. Це економічніша реалізація управління, оскільки лінія зв'язку, використовувана передачі малопотужних сигналів управління, має менший поперечний переріз провідників і, отже, меншу вартість.

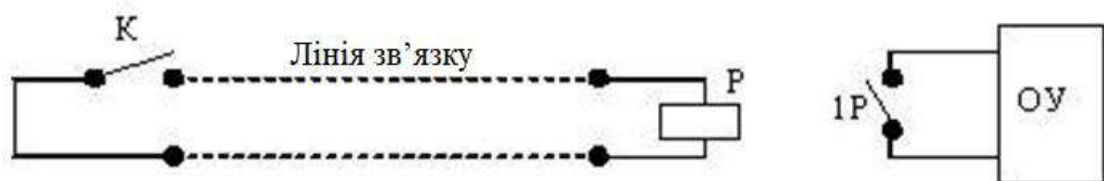


Рисунок 2.6 – Структурна схема дистанційного керування:

К - ключ управління; ОУ – об'єкт управління; Р – обмотка реле;

1Р - контакт реле; джерела живлення умовно не показані

У системі дистанційного керування кожному об'єкту керування потрібна окрема лінія зв'язку.

3. Телемеханічне керування (рис. 2.7), що забезпечує використання однієї лінії зв'язку для керування безліччю об'єктів.

Ця схема узагальнює всі телемеханічні функції. Наприклад, під час реалізації телемеханічної функції ТВ у роботі беруть участь в повному обсязі блоки даної схеми. У цьому випадку режим роботи безперервного об'єкта ОУ вимірюється безперервним датчиком Д, сигнал з якого кодером К2 перетворюється на телемеханічний код, який перетворюється далі передавачем П2 в лінійний сигнал, що надходить в лінію зв'язку. З лінії зв'язку сигнал надходить у приймач Пр2 і перетворюється на ньому в телемеханічний код, який далі декодер Дк2 перетворює на інформаційний сигнал, що відображається індикатором І для пред'явлення оператору ОП. Таким чином, сигнал проходить через такі ланки: О – Д – К2 – П2 – ЛЗ – Пр2 – ДК2 – І – ВП. Інші блоки в роботі не беруть участь.

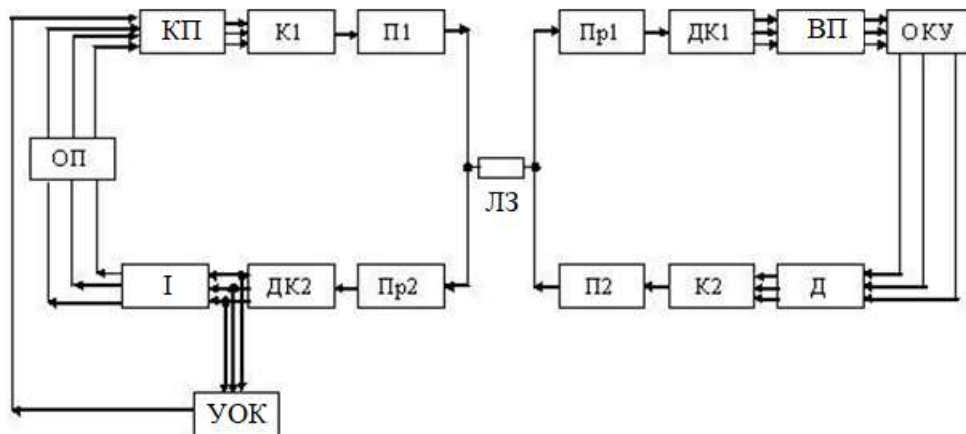


Рисунок 2.7 – Узагальнена структурна схема телемеханічної системи:
 ОКУ – комплекс об'єктів контролю та управління; Д – комплекс датчиків;
 ВП – комплекс виконавчих пристроїв; К1, К2 - кодувальні пристрої (кодери); П1, П2 - передавальні пристрої; ЛЗ – лінія зв'язку; Пр1, Пр2 - приймальний пристрій; Дк1, Дк2 - декодуючі пристрої; І – комплекс індикаторів; ОП – людина-оператор, КП – комплекс командних пристроїв, УОК – управляючий обчислювальний комплекс

Аналогічним чином можна скласти структурну схему телемеханічної системи, що реалізує як основні телемеханічні функції, і будь-які їх поєднання.

Структура системи телемеханіки залежить також від того, як розташовані об'єкти контролю та управління. Має значення, чи зібрані об'єкти одному місці, тобто. знаходяться неподалік один від одного, або розосереджені на великій території. Тут існують два різновиди систем.

Система телемеханіки для зосереджених об'єктів – система, у якій є один пункт управління та один контрольований пункт. Прикладом такого об'єкта є електрична підстанція, де в одному приміщенні знаходиться безліч масляних вимикачів, що включаються та відключаються з телемеханічного пункту управління.

Система телемеханіки для розосереджених об'єктів – система, у якій є один пункт управління та кілька контрольованих пунктів. Прикладом таких об'єктів є витягнуті на тисячі кілометрів газо- та нафтопроводи, в яких потрібно контролювати тиск, витрату та інші параметри, керувати компресорними чи насосними установками, а також насосні установки на нафтопромислах, розкидані на великій території. Очевидно, пристрої телемеханіки та лінії зв'язку (канали зв'язку) на нафтопроводах, нафтопромислах будуть розташовані по-іншому, внаслідок чого системи телемеханіки будуть, у свою чергу, відрізнятися один від одного.

Телемеханічна мережа – сукупність пристроїв телемеханіки та ліній зв'язку, що їх об'єднують.

Багатоточкова структура телемеханічної мережі – структура телемеханічної мережі, де два пристрої (чи більше) контрольованих

телемеханічних пунктів з'єднуються лініями зв'язку з пристроєм телемеханіки на телемеханічному пункті управління.

Ланцюжкова структура телемеханічної мережі – багатоточкова структура телемеханічної мережі, у якій пристрої контрольованих телемеханічних пунктів з'єднані загальною лінією зв'язку з пристроєм телемеханічного пункту управління. Така структура (рис. 2.8) й у систем телемеханіки, обслуговуючих нафтопроводи.

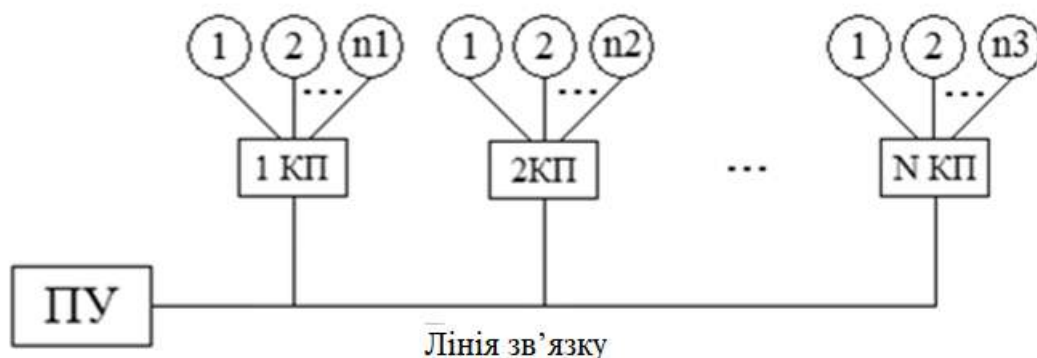


Рисунок 2.8 – Ланцюжкова структура телемеханічної мережі:

ПУ - пристрій пункту управління; 1КП,...NКП – пристрої контрольованого пункту відповідного номера; 1, 2... n_i , $i=1, 2, N...$ – телемеханічні об'єкти

Різновидом ланцюжкової структури є кільцева структура, в якій лінія зв'язку утворює кільце та телемеханічний пункт управління при цьому може бути пов'язаний з кожним контрольованим телемеханічним пунктом двома різними шляхами.

Радіальна структура телемеханічної мережі – багатоточкова структура телемеханічної мережі, де пристрій телемеханічного пункту управління з'єднано окремою лінією зв'язку з кожним пристроєм контрольованого пункту. Така структура представлена на рис. 2.9.

Деревоподібна структура телемеханічної мережі – це комбінація радіальної та ланцюжкової структур (рис. 2.10). У цій структурі один КП (5КП на рис. 2.10) використовується як ретранслятор для передачі інформації від ПУ на інші КП (6КП та 7КП на рис. 2.10), а також ретрансляції зворотної інформації на ПУ із зазначених КП.

Вибір типу конфігурації телемеханічної мережі визначається топологією розосереджених об'єктів і виробляється за критерієм мінімальної вартості витрат за створення ліній зв'язку з урахуванням можливостей комплексу телемеханічних устроїв.

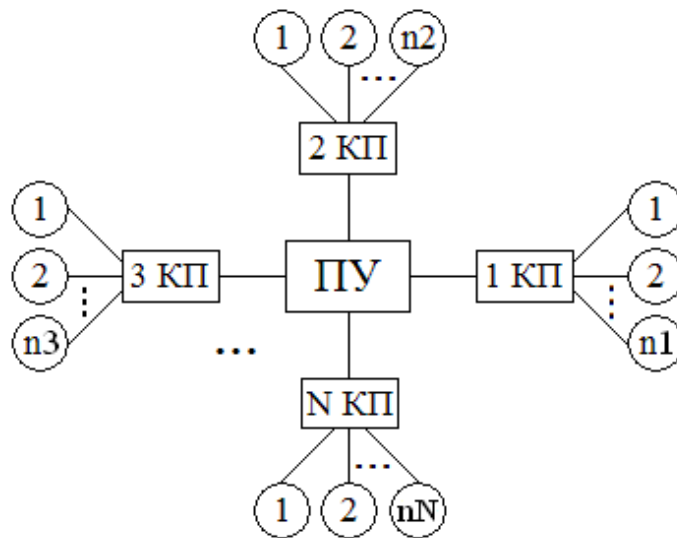


Рисунок 2.9 – Радіальна структура телемеханічної мережі:
 ПУ - пристрій пункту управління; 1КП,...NКП – пристрої контрольованого пункту відповідного номера; $n_1, n_2, \dots, n_N$ – телемеханічні об'єкти на контрольованому пункті відповідного номера

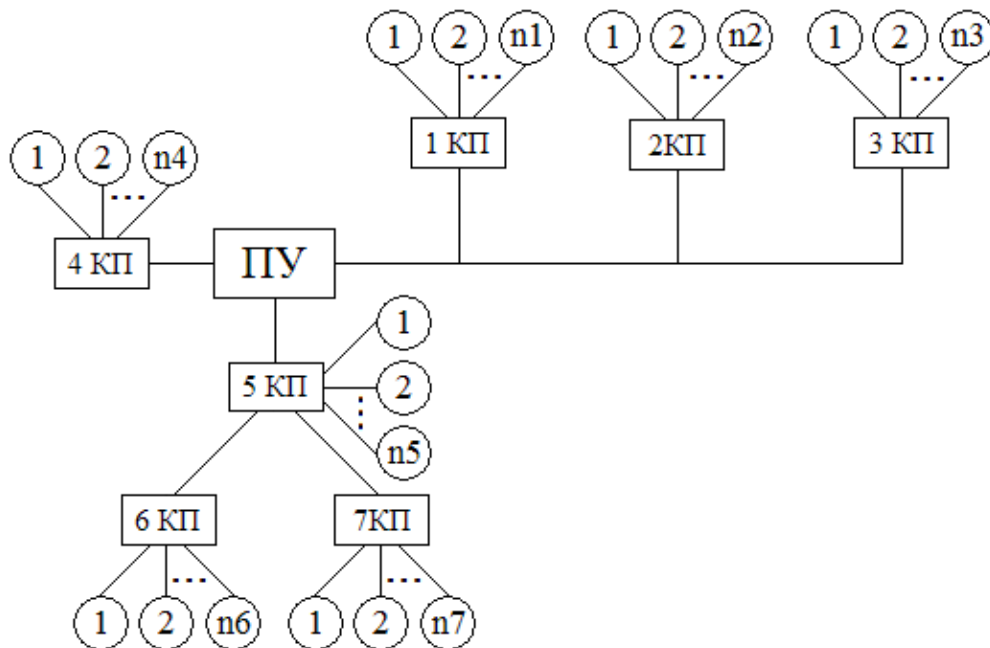


Рисунок 2.10 – Деревоподібна структура телемеханічної мережі:
 ПУ - пристрій пункту управління; 1КП,...7КП – пристрої контрольованого пункту відповідного номера; 1, 2 ... n_i ; $i=1, 2, \dots, 7$ – телемеханічні об'єкти

В залежності від об'єкта управління, його розташування, особливостей та контролю функціонування системи телемеханіки можуть мати різну структуру. Телемеханічна система складається із пристроїв ТМ, розташованих на диспетчерських та контрольованих пунктах, пов'язаних між собою каналами зв'язку. Структура системи ТМ визначається структурою диспетчерського управління, взаємним географічним розташуванням контрольованих

знертооб'єктів та пунктів контролю та управління та структурою каналів зв'язку.

Якщо система ТМ містить один або кілька диспетчерських пунктів одного рівня управління, то вона є однорівневою, якщо в системі ТМ є диспетчерські пункти двох або більше рівнів ДК. то це дво-або багаторівнева система.

Типові структури систем ТМ відносяться до однорівневих систем. У стандарті МЕК "Пристрої та системи телемеханіки" виділяються такі типові структури систем ТМ (рис.2.11):

1) "пункт-пункт" (рис.2.11, а): один пункт керування з'єднано з одним контрольованим пунктом (КП);

2) радіальна: пункт керування з'єднаний з N контрольованими пунктами:

а) через N терміналів (рис.2.11, б) – можливий одночасний зв'язок з кожним КП;

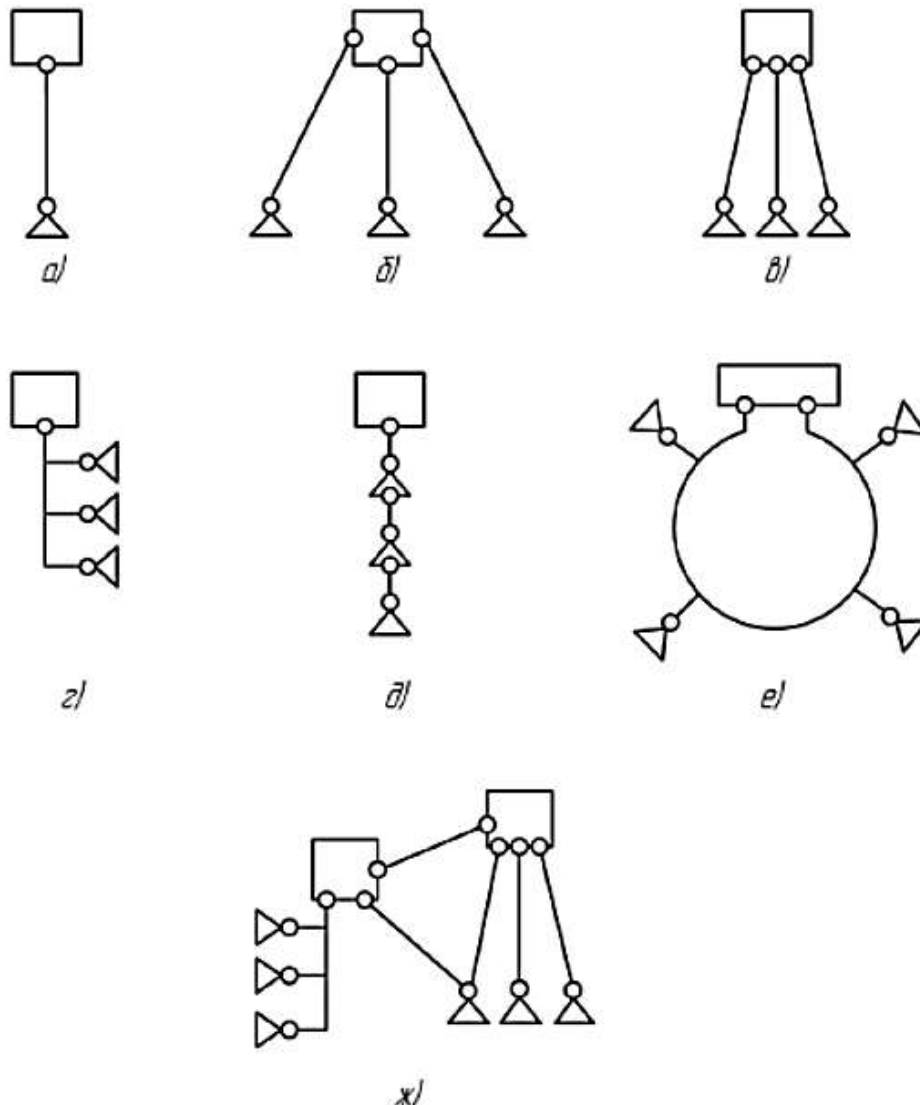


Рисунок 2.11 – Типові типові структури систем телемеханіки:

а) "точка-точка"; б) багатоточкова радіальна "один-один"; в) багатоточкова радіальна "один - N"; г) багатоточкова магістральна; д) ланцюгова (транзитна); е) кільцева; ж) змішана ієрархічна.

б) через спільний термінал (рис.2.11, в) – багатоточкова радіальна (зіркова) пристрій ПУ пов'язано з N пристроями КП через загальний лінійний термінал, що обслуговує N радіальних каналів зв'язку. Одночасно тільки один КП може передавати інформацію на ПУ. Передача загальних команд з ПУ може проводитися на всі КП одночасно: передача індивідуальних команд - за адресою КП;

3) магістральна (рис.2.11, г) – пристрій ПУ пов'язано загальним каналом зв'язку з N пристроями КП, розташованими вздовж цього каналу. Організація зв'язку між ПУ та КП така сама, як для багатоточнової радіальної структури;

4) транзитна структура (рис.2.11, д) – пункт керування пов'язаний ланцюговим каналом з контрольованим пунктом, який ретранслює сигнал;

5) багатоточкова кільцева (рис.2.11, е); загальний канал зв'язку утворює "кільце". до якого підключено всі пристрої КП. Кільце замикається пристроєм ПУ. Найнадійніша структура, оскільки при ушкодженні однієї з ділянок каналу працездатність КП зберігається, зв'язок із кожним з них може бути організований з двох сторін;

6) гібридні, комбіновані, змішані структури (рис.2.11, ж).

Гібридні структури особливо характерні для багаторівневих ієрархічних систем ТМ, коли на різних рівнях диспетчерського управління можуть зустрічатися структури різних типів

3. Функціональні блоки систем телемеханіки та їх призначення.

Усі системи телемеханіки є системами передачі. Ці системи містять сукупність технічних засобів, які передають інформацію від джерела до виконавчого пристрою. У найбільш загальному вигляді в систему передачі інформації входять:

- джерело повідомлення;
- кодуєчий пристрій, що формує з повідомлення сигнал;
- передавач-модулятор, що перетворює сигнал у вигляд, зручний для передачі по лінії зв'язку (фізичного середовища, яким передаються сигнали);
- приймач-демодулятор, що перетворює сигнал на початковий вигляд;
- декодуєчий пристрій, який формує з сигналу повідомлення.

За прийнятим повідомленням мають бути сформовані сигнали реалізації. Це завдання вирішує окремий пристрій (формуєч сигнал реалізації), що впливає на виконавчий пристрій. Ціль системи: передача повідомлення від джерела до одержувача, тобто виконавчого пристрою. Вона вважається виконаною, якщо повідомлення, прийняте одержувачем, повністю відповідає переданому повідомленню А.

На рис. 2.12 зображено узагальнену схему системи ТМ найпростішої структури «пункт - пункт». Система ТМ містить пункт управління (ПУ) та контрольований пункт (КП), котрі з'єднанні каналом зв'язку. Крайня апаратура каналу «модем» пов'язана із пристроєм телемеханіки (ПТМ) через стандартний або спеціалізований інтерфейс (у залежності від типу модему, який використовують). Спеціалізовані найпростіші модеми, що мають 4-провідний

зв'язок з ПТМ, регламентований технічними умовами на апаратуру телемеханіки, застосовують у каналах телемеханіки для енергосистем.

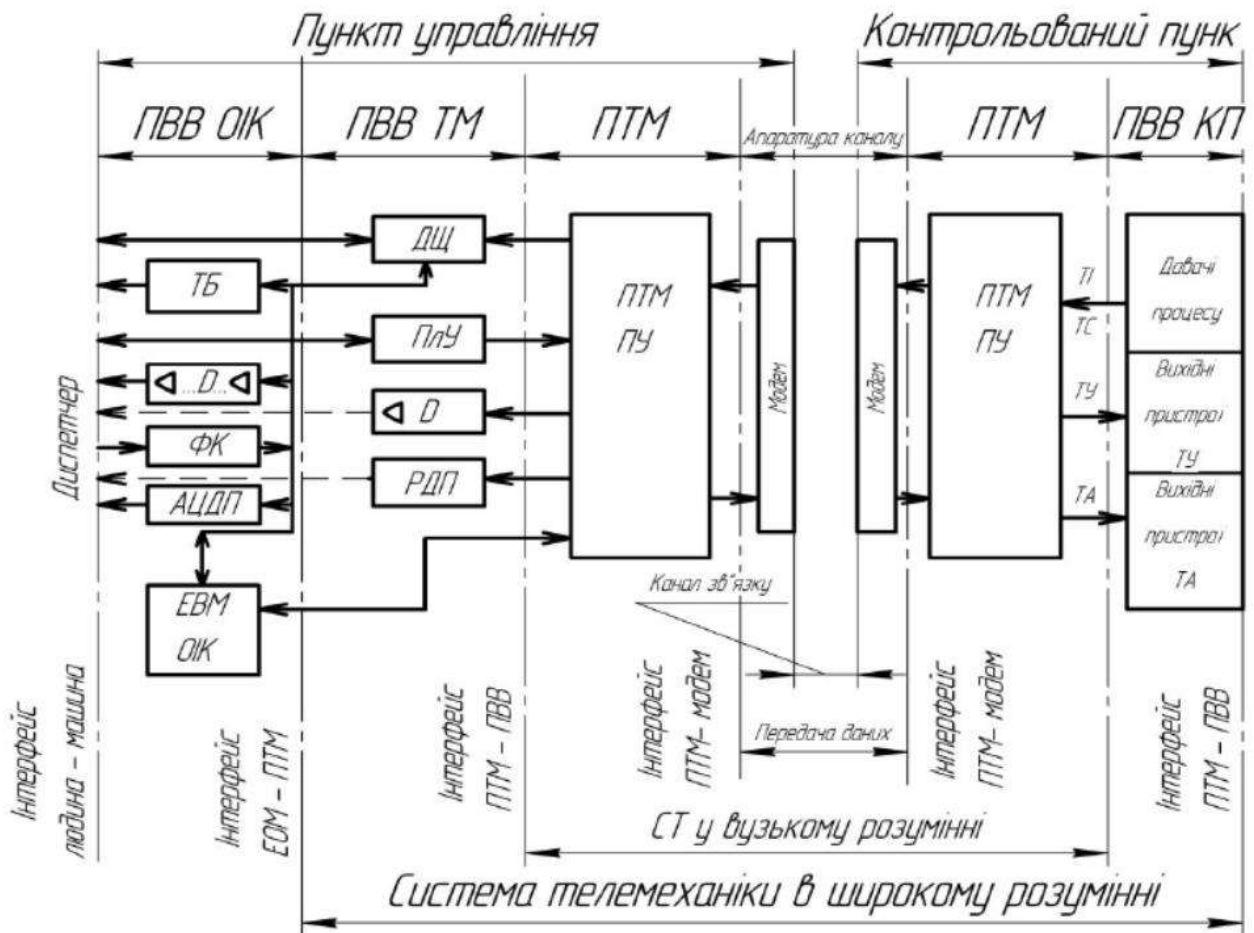


Рисунок 2.12 – Узагальнена схема системи телемеханіки «пункт-пункт»:

ПВВ ОІК – пристрої введення-виведення оперативно-інформаційного комплексу; ПВВ ТМ – пристрої введення-виведення системи телемеханіки; ПТМ – пристрій телемеханіки; ПУ – пункт управління; КП – контрольований пункт; ПВВ КП - пристрої введення-виведення контрольованого пункту; ТБ – табло диспетчера; D – дисплеї; ФК – функціональна клавіатура; АЦДП – аналого-цифровий друкувальний пристрій; ДЩ – диспетчерський щит; ПЛУ – пульт управління; РДП – реєструвальний-друкувальний пристрій; ТІ, ТС, ТУ, ТА – вхідні та вихідні сигнали пристроїв телемеханіки

Система ТМ додатково може містити пристрої введення-виведення інформації (ПВВ ТМ). На ПУ – це пристрій відображення та введення оперативної інформації – диспетчерський щит (ДЩ) та пульт управління (ПЛУ), контрольний дисплей та реєструючий друкувальний пристрій (РДП). На ДЩ розташовані основні засоби відображення загального використання: мнемонічні схеми контрольованих об'єктів із сигнальними лампами, стрілочними та цифровими приладами тощо. На ПУ розміщено ключі управління, мнемосхема управляемого об'єкту із сигнальними лампами, табло та інші вказівні прилади. Інтерфейс ПТМ ПУ-ДЩ може містити ряд проміжних допоміжних пристроїв,

котрі належать до комплексу ПТМ ПУ, і задані технічними умовами на цей комплекс.

Для допомоги диспетчеру у веденні оперативного режиму енергосистем на всіх великих диспетчерських пунктах створені оперативно-інформаційні комплекси АСДУ з відповідними пристроями введення-виведення інформації ПВВ ОІК. До складу ОІК належать ЕОМ, які отримують телеінформацію безпосередньо від ПТМ та опрацьовують її в темпі надходження, тобто в режимі реального часу; ЕОМ ОІК управляє засобами відображення індивідуального використання (дисплей Д) і колективного використання (табло ТБ, друкувальні пристрої АЦПУ, узагальнені символи ДЩ тощо). Оперативна інформація від диспетчера вводять до ЕОМ через функціональну клавіатуру ФК.

Інтерфейс спряження ПТМ-ЕОМ ОІК залежить від багатьох факторів і, зокрема, від наявності проміжних пристроїв спряження типу модулів введення-виведення ЕОМ. Як правило, цей інтерфейс схемно або програмно реалізують в ПТМ ПУ та повинен обумовлюватись в технічних умовах на спряження з ЕОМ.

На КП пристроями введення-виведення ПВВ є давачі ТІ, ТС, аварійних сигналів та інших видів контрольної інформації, а також вихідні пристрої ТУ двопозиційними або багато позиційними об'єктами, пристрої телеавтоматики тощо.

4. Канали зв'язку

Канали зв'язку є важливою частиною системи управління, це один з чинників, що визначає надійність і точність передачі інформації від джерела до приймача.

Каналом зв'язку або каналом передачі інформації називається сукупність приймально-передавальної апаратури і лінії зв'язку, призначених для незалежної передачі сигналів на відстань від джерела інформації до приймача.

У системах телемеханіки широко використовуються електричні канали зв'язку. Відповідно до характеру і розташування об'єктів управління і контролю вибирається структура і конфігурація ліній зв'язку, які в кожному конкретному випадку будуть мати свої особливості.

Зазвичай використовуються електричні канали зв'язку по кабельних і повітряних провідних лініях.

Повітряні лінії - найбільш старий вид дротового зв'язку. Вони дуже схильні до впливу зовнішніх умов і перешкод. Для ПЛ використовують сталеві і біметалічні (сталеві, покриті шаром міді) дроти. Лінії зі сталевими дротами мають гірші характеристики, однак їх вартість значно нижче, тому вони знаходять широке застосування. В телемеханіці електроенергетики також можуть використовуватися повітряні лінії електропередач, у тому числі високовольтні.

Кабельні лінії набули більшого поширення, незважаючи на їх високу вартість (в 8-10 разів вище повітряних). Це пояснюється рядом істотних переваг

кабельних ліній, які полягають в їх високій механічній міцності, значно меншій залежності від метеорологічних умов тощо. Крім того, у багатьох випадках взагалі не є можливим прокладати повітряні лінії.

По одній парі проводів може здійснюватися або однобічний (симплексний), або двосторонній (дуплексний) зв'язок. Для роботи пристроїв телемеханіки при симплексному зв'язку необхідно мати дві пари проводів: в одній передаються канали телеуправління (ТУ), що працюють в один бік; в іншій - канали телесигналізації (ТС) і телевимірювання (ТВ), що працюють по лінії ТС. При цьому для передачі наказів ТУ з диспетчерського пункту ДП на КП можна використовувати одну частоту змінного струму або дві. Передача повідомлень ТС і ТВ з кожного КП ведеться на своїй частоті

Дуплексний зв'язок здійснюється по одній спільній парі проводів як для телеуправління, так і для телесигналізації. Для зменшення впливу передавачів на приймачі одного і того ж пункту при двосторонній передачі їх підключають до лінії зв'язку через диференціальні фільтри (ДФ). Однак повністю виключити цей вплив не вдається, рівень перешкод при двосторонній передачі виявляється вищим, ніж при симплексній.

У системах телемеханіки застосовують частотні канали зв'язку. Апаратура дозволяє утворювати до 19 каналів на частотах від 450 до 3690 Гц. Частоти сусідніх каналів відрізняються один від одного на 180 Гц.

Структурна схема передавача частотно-модульованих сигналів включає в себе: модулятор (М), що змінює частоту генератора в процесі модуляції; генератор (Г), що створює несучу частоту каналу; каскад попереднього підсилення (ПП); смуговий фільтр (СФ); вихідний підсилювач потужності (ВП) і лінійний блок (ЛБ), що забезпечує приєднання передавача до лінії зв'язку. Кодова серія телемеханіки надходить на модулятор, який змінює частоту роботи генератора відповідно до елементів кодової серії. Попередньо посилені підсилювачем ПП частотні імпульси через фільтр СФ надходять на підсилювач ВП, з якого модульовані і посилені до необхідного рівня імпульси через лінійний блок надходять в лінію зв'язку.

Приймач частотно-модульованих (ЧМ) сигналів складається з наступних блоків: лінійного блоку, що забезпечує приєднання приймача до лінії зв'язку; смугового фільтра (Ф); підсилювального каскаду (П); підсилювачів-обмежувачів для обмеження сигналів з великою і малою амплітудою; дискримінатора Д, який здійснює детектування частотно-модульованих сигналів; вихідного тригера (ТГ), з виходу якого сигнал надходить на об'єкт ТУ або на сигнальний елемент ТС.

Кількість повідомлень, які можна передати по провідних лініях зв'язку, обмежена робочою смугою частот, які використовуються для передачі інформації.

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) дозволяють значно розширити робочу смугу частот. ВОЛЗ використовуються для передачі інформації у вигляді модульованого пучка світла, що поширюється всередині гнучких оптичних волокон. Аналоговий сигнал, що генерується обладнанням даних,

наприклад, телефоном, приходить на вузол комутації, де аналого-цифровий перетворювач (АЦП) здійснює кодування сигналів в цифровий потік. Цей потік використовується для модуляції світлового потоку в оптичному передавачі, який передає серію оптичних імпульсів в оптичне волокно. На лінії встановлено повторювачі, призначені для посилення оптичного сигналу, який слабшає в процесі передачі. Якщо передавальна і приймальна станції віддалені один від одного на велику відстань, наприклад, на кілька сот кілометрів, то може знадобитися кілька проміжних повторювачів.

На приймальній стороні імпульси світла перетворюються назад в електричний сигнал за допомогою оптичного приймача, з якого цифровий потік надходить на декодер, що перетворює його в аналоговий сигнал.

Волоконно-оптичні лінії зв'язку мають низку переваг у порівнянні з дротовими. Вони характеризуються великою пропускнуою здатністю, захищеністю від зовнішніх електромагнітних впливів, малими втратами сигналу при його поширенні, електробезпекою, економією дефіцитних кольорових металів. До недоліків ВОЛЗ можна віднести високу вартість приймально-передавального оптичного устаткування.

Тема 3. Телемеханічні повідомлення та їх характеристики

1. Телемеханічні повідомлення.
2. Фізичні характеристики телемеханічних сигналів.
3. Види сигналу.
4. Частотні спектри сигналів
5. Завадостійкість сигналів.
6. Завадостійкість приймача Котельникова.

1. Телемеханічні повідомлення.

Телемеханічні повідомлення – це відомості про значення певного параметру телевимірювання, телесигнали, накази на увімкнення-вимкнення (телекерування), відомості про величину уставок для регуляторів потужності, напруги (телерегулювання).

Повідомлення – це об'єкт передачі (передана інформація).

Сигнал – засіб передачі повідомлення (якийсь фізичний процес що відповідає повідомленню).

Телемеханічне повідомлення подають до передавального пристрою, який перетворює повідомлення на сигнал – послідовність електричних імпульсів, однозначно відповідних повідомленню.

Вид сигналу визначає тип каналу зв'язку, яким передають повідомлення (електричний, радіо- чи світловий зв'язок тощо).

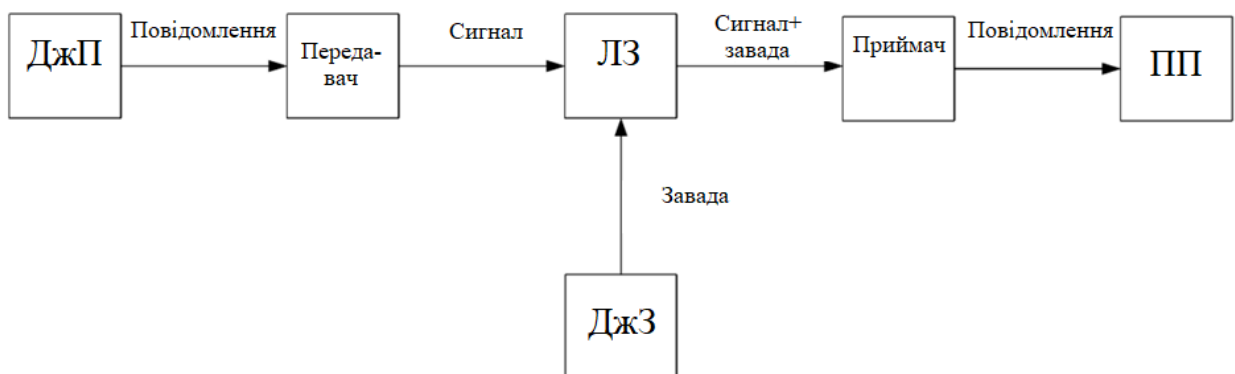


Рисунок 3.1 – Спрощена структурна схема телемеханічної системи:
ДжП – джерело повідомлень; ПП – приймач повідомлень, ЛЗ – лінія зв'язку,
ДжЗ – джерело завад

Основні характеристики телемеханічних повідомлень

1. Достовірність повідомлення – оцінюють ймовірністю виявлення помилок або ймовірністю приймання фальшивих повідомлень.

2. Оперативність передавання повідомлень.

Повідомлення повинні передаватися у темпі керованого процесу. Режим реального часу визначає допустимі затримки та запізнення при передачі телемеханічних повідомлень

3. Ефективність використання каналу зв'язку

Повідомлення повинні займати мінімальний обсяг каналу зв'язку, з тим, щоб по даному каналу надсилати максимум повідомлень.

Мінімальний об'єм каналу зв'язку V_{K3} :

$$V_{K3} = \Delta f_K T_K \lg \frac{P_C}{P_3},$$

де Δf_K – частотна смуга каналу;

T_K – тривалість зайнятості каналу;

$\frac{P_C}{P_3}$ – відношення потужностей рівнів сигнал/завада.

4. Висока інформативність повідомлення, тобто кожне повідомлення має містити нові відомості (інформацію).

2. Фізичні характеристики телемеханічних сигналів.

Сигнал - це фізичний процес, однозначно відповідний повідомленню, яке передають. Сигнал є переносником повідомлення

У передаванні телемеханічних повідомлень беруть участь різні види сигналів. Первинним сигналом, що потрапляє на вхід передавального пристрою телемеханіки, є сигнал від датчика, що перетворює телемеханічне повідомлення (наприклад, ТВ або ТС) в електричну величину з певними параметрами струму (амплітуда, частота, фаза тощо).

У передавальному пристрої телемеханіки ці сигнали піддають різним перетворенням з метою надання їм необхідних якостей по забезпеченню надійності передавання по каналу зв'язку. Сигнали на виході передавального телемеханічного пристрою називатимемо телемеханічними сигналами.

Зазвичай телемеханічний сигнал потрапляє до апаратури каналу зв'язку (модему), де він перетворюється (за визначеним для передавання діапазоном частот, рівнем сигналів по відношенню до рівня завад тощо) з метою узгодження його характеристик з характеристиками каналу зв'язку. На приймальному кінці сигнал піддають зворотному перетворенню в приймальній апаратурі каналу зв'язку і у вигляді відновленого телемеханічного сигналу подають на вхід приймального пристрою телемеханіки.

Вибір виду імпульсних ознак залежить від типу каналу зв'язку, по якому передають сигнали.

Основні види імпульсних ознак:

а) **амплітудна ознака** - імпульсні посилки відрізняють за амплітудою. Переважне розповсюдження цей вид імпульсної ознаки одержав у сучасних телемеханічних пристроях за двох крайніх значеннях амплітуди - наявності і відсутності імпульсу ($m=2$). За значення $m>2$ амплітудну ознаку практично не застосовують внаслідок неможливості використання сучасної апаратури каналів зв'язку, що працює за принципом двопозиційної імпульсної модуляції несучої частоти, і зменшення завадостійкості прийому із зростанням m ;

б) **полярна ознака** має два значення – позитивний і негативний імпульс, тобто $m=2$; її широко застосовують у сучасних системах телемеханіки як за частотного ущільнення, так і за виділеної фізичної лінії зв'язку;

в) **широтно-імпульсна (часова) ознака** – імпульсні посилки різняться між собою за тривалістю. Під посилками розуміють як самі імпульси, так і

відстань між ними. У першому випадку сигнал містить розділові інтервали постійної тривалості t_p , що відокремлюють один від одного імпульси селективної тривалості t_1 і t_2 . У другому випадку розділові інтервали в сигналі відсутні $t_p = 0$, а імпульси і паузи однакової тривалості $t_1 = t_2$ приймають за елементарні сигнали однієї якості.

Якщо тривалості посилок різняться між собою як цілі числа, то такі сигнали називають сигналами з дискретними широтними (часовими) ознаками. Як правило, число селективних широтно-імпульсних ознак, використовуваних в одному телемеханічному пристрої, не перевершує трьох-чотирьох, хоча число ознак цього вигляду може бути і більшим.

Широтно-імпульсна ознака є універсальною відносно використання каналів зв'язку як провідних, так і частотних. Додатковою вимогою до каналної апаратури зв'язку в порівнянні з розглянутими імпульсними ознаками є вимога щодо неприпустимості спотворень тривалості імпульсів у каналі зв'язку понад задану величину. Відповідним вибором відношень тривалості селективних імпульсів можна досягти бажаної міри завадостійкості за певного рівня завад;

г) **фазова ознака** - імпульсні посилки відрізняються один від одного за фазою по відношенню до деяких опорних міток або опорної частоти, наявних у місці прийому. Певні телемеханічні пристрої використовують як опорну частоту мережі змінного струму. Найпростішої реалізації фазової ознаки в таких системах досягають за двох ($m=2$) крайніх значень фаз сигналів 0° і 180° . Можлива достатньо надійна відмінність сигналів і за значень $m_\phi > 2$. Все залежить від стабільності часових характеристик приймально-передаючої апаратури, що впливають на зсув фаз посланих і опорних сигналів.

д) **частотна ознака** - імпульсні посилки відрізняються одна від одної за частотою. На відміну від усіх розглянутих вище імпульсних ознак, частотна ознака допускає одночасну передачу по каналу зв'язку ряду імпульсів різних частот f_i у діапазоні ΔF_C . Для цього необхідно, щоб канал зв'язку мав смугу пропускання частот $\Delta F \geq \Delta F_C$.

Вибір робочих частот f_i повинен проводитися з урахуванням можливості появи бічних частот, співпадаючих з робочими в даній смузі ΔF_C . Селективність прийому імпульсів різних частот залежить від характеристик приймальних частотних фільтрів. Надійність селекції зростає із збільшенням відстані (кроку) між сусідніми частотами. Тому, чим ширша робоча смуга, тим більше число частотних ознак m_f може бути використано. Деякі телемеханічні пристрої використовують частотні імпульсні ознаки з $m_f=10\dots16$.

Властивості сигналів і передану за їх допомогою інформацію можна характеризувати кількісними параметрами. Основним з них є ширина спектра сигналу ΔF_C , його динамічний діапазон D_C та тривалість T_C .

Ширина спектру $\Delta F_C = F_B - F_H$ визначається як різниця між найвищою і найнижчою частотами спектра сигналу, які слід забезпечити для якісної передачі інформації. Наприклад, ширина спектру для телеграфних сигналів становить 75 герц, для аналогової телефонії – 3400 герц, а для телевізійного

сигналу – близько 6 мегагерц. Ширина спектру обернено пропорційна швидкості зміни сигналу.

Динамічний діапазон D_C – це відношення максимальної миттєвої потужності сигналу до мінімальної, що забезпечує задану якість передачі інформації. Найчастіше динамічний діапазон виражають в логарифмічних одиницях – децибелах (дБ):

$$D_C = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}.$$

Наприклад, динамічний діапазон для мовлення становить 30...35 дБ, а для музики у виконанні симфонічного оркестру - 70...80 дБ.

Ясно, що мінімальним значенням сигналу буде потужність завади. Якщо $P_{\min}$ знайти важко, то її приймають як $P_{\text{ш}}$.

Проміжок часу, протягом якого передається сигнал, називається тривалістю сигналу T_C .

Добуток цих основних параметрів сигналу визначає його об'єм:

$$V_C = \Delta F_C T_C \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \Delta F_C T_C D_C.$$

Об'єм сигналу можна визначити також через швидкість передачі інформації. Кількісно інформацію виражають у спеціальних одиницях – бітах. Один біт – це кількість інформації, яку містить один розряд двійкового цифрового коду. Швидкість передачі інформації виражають в бітах за секунду і позначають літерою C . Отже, об'єм сигналу: $V_C = C T_C$.

Сигнали передаються на відстань за допомогою сукупності технічних засобів, яка називається каналом зв'язку. Це може бути двопровідна, кабельна, оптична, радіорелейна, супутникова або якась інша лінія зв'язку зі своєю прийнятно-передавальною апаратурою. Кожен канал зв'язку має свої технічні параметри: смугу пропускання, динамічний діапазон та швидкодію. Щоб передати сигнал по каналу зв'язку без втрат інформації, його параметри треба узгодити з параметрами цього каналу.

3. Види сигналів.

1. За формою : прості і складні.

Прості сигнали – детерміновані і можуть бути описані за допомогою функції. Складні – суперпозиція простих.

Гармонічний сигнал описується виразом :

$$s(t) = A_m \cdot \cos(2\pi f t + \varphi_0)$$

де A_m – амплітуда,

f – частота,

t – час,

φ_0 – фаза,

$\omega = 2\pi f$ – циклічна або кругова частота.

2. З інформаційного погляду сигнали можна розділити на детерміновані та випадкові.

Детермінованим називають будь-який сигнал, миттєве значення якого будь-якої миті часу можна передбачити з ймовірністю 1. Прикладами детермінованих сигналів можуть служити імпульси або пакки імпульсів, форма, амплітуда та положення в часі яких відомі, а також неперервний сигнал із заданими амплітудними та фазовими співвідношеннями всередині його спектру. Такі сигнали не несуть нової інформації, проте їх використовують як тестові сигнали при дослідженні різних електронних кіл та пристроїв.

До **випадкових** відносять сигнали, миттєві значення яких заздалегідь невідомі і можуть бути передбачені лише з деякою ймовірністю, меншою одиниці. Такими сигналами є, наприклад, електрична напруга, що відповідає мовленню, музиці, послідовності знаків телеграфного коду при передачі неповторного тексту. Фактично, будь-який сигнал, що несе у собі інформацію, має розглядатися як випадковий. Детерміновані сигнали, «відомі», інформації не містять.

Поряд із корисними випадковими сигналами в теорії та практиці доводиться мати справу з випадковими перешкодами – шумами. Рівень шумів є основним фактором, що обмежує швидкість передачі при заданому сигналі.

Поділ усієї розмаїтості сигналів на детерміновані та випадкові є відносним. Наприклад, корисний сигнал, прийнятий на приймальному пункті, є для адресата випадковим, бо адресат наперед не знає змісту інформації, яку несе даний сигнал. У той же час цей сигнал на передавальному пункті вважається детермінованим, оскільки там точно відома інформація, яку несе сигнал.

3. Сигнали також прийнято класифікувати залежно від **характеру зміни в часі** та на **множині значень**.

Розрізняють сигнали неперервні та дискретні в часі. Неперервні в часі сигнали існують у кожен момент часу.

Дискретні в часі сигнали з'являються лише в певні моменти часу.

Крім того, розрізняють сигнали неперервні та дискретні на множині значень.

Неперервні на множині значень сигнали можуть приймати неперервну множину значень у заданому інтервалі, тобто їх миттєві значення можуть змінюватись плавно, хоча також можуть мати окремі стрибки.

Дискретні на множині значень сигнали можуть приймати лише дискретні значення у заданому інтервалі, тобто їх миттєві значення можуть змінюватись лише стрибкоподібно.

На підставі цієї класифікації можна виділити такі чотири типи сигналів:

1. Аналогові або континуальні - неперервні в часі та на множині значень.
2. Дискретизовані - дискретні в часі та неперервні на множині значень.
3. Квантовані - неперервні в часі та дискретні на множині значень.
4. Цифрові - дискретні одночасно в часі та на множині значень.

Будь-яке первинне повідомлення може бути перетворене у будь-який із чотирьох наведених вище типів сигналів. Наприклад, первинне повідомлення у вигляді неперервного звукового сигналу можна перетворити:

а) в аналоговий електричний сигнал $s_a(t)$, миттєві значення якого пропорційні силі звуку (рис.3.2а);

б) у дискретизований сигнал $s_d(t)$, який є послідовністю коротких імпульсів, амплітуди яких пропорційні силі звуку в дискретні моменти часу (рис.3.2 б);

в) у квантований сигнал $s_k(t)$, який є послідовністю стрибкоподібних змін з дозволеними фіксованими значеннями, що відповідають миттєвим значенням звукового сигналу з деякою допустимою похибкою (рис.3.2 в);

г) у цифровий сигнал $s_u(t)$, який є послідовністю коротких імпульсів, амплітуди яких можуть приймати дозвалені фіксовані значення, що відповідають миттєвим значенням звукового сигналу з певною допустимою похибкою (рис.3.2 г).

Найбільш поширеними є аналогові та цифрові сигнали. Способи реалізації операцій пересилання, обробки, зберігання та відтворення інформації, представлені аналоговими та цифровими сигналами, докорінно різняться між собою.

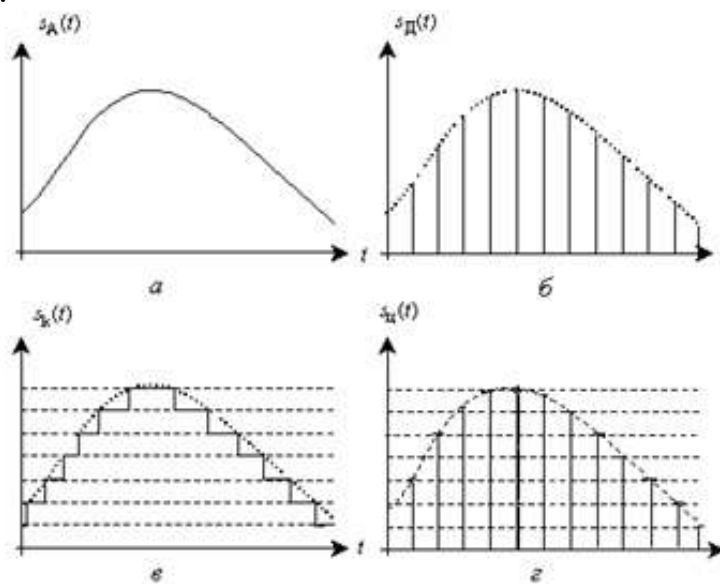


Рисунок 3.2 – Аналоговий (а), дискретизований (б), квантований (в) та цифровий (г) сигнали, які відповідають одному й тому ж первинному повідомленню

Залежно від тривалості проміжку часу, протягом якого існує сигнал, розрізняють неперервні (довготривалі) та імпульсні сигнали.

Неперервні сигнали теоретично існують на нескінченному проміжку часу. Реальні сигнали мають початок і кінець і їх не можна вважати неперервними. Проте в багатьох випадках достатньо довготривалі сигнали вважають неперервними.

Імпульсні сигнали (поодинокі імпульси) існують лише протягом короткого проміжку часу, а в усі інші моменти їх значення тотожно дорівнюють нулеві.

Імпульсними є сигнали, обмежені в часі. Їх поділяють на відеосигнал - імпульси постійного струму – та радіосигнал - імпульси змінного струму.

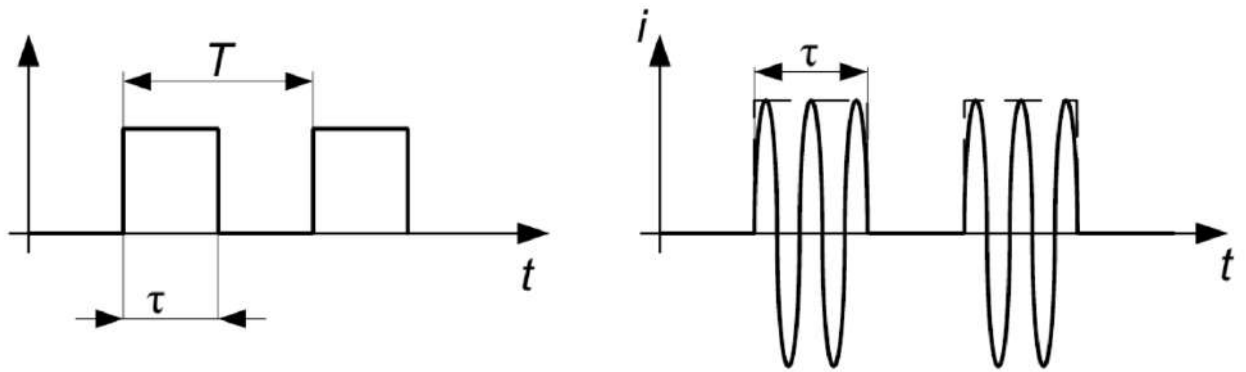


Рисунок 3.3 – Структура відео- та радіоімпульсів

Характеристики імпульсів:

1. Амплітуда та тривалість $t_i = \tau$.
2. Період (T) та шпаруватість (q), коефіцієнт заповнення (γ)

$$q = \frac{T}{\tau}, \quad \gamma = \frac{\tau}{T}$$

3. Діапазон частот

$$\Delta F = \frac{\mu}{\tau}$$

де μ – коефіцієнт форми – зв'язок між діючим та середнім значеннями. Для меандра $\mu = 1$.

4. Спектр гармонік з A_k, f_k, ω_k , де k – індекс.

Всі реальні фізичні сигнали є дійсними функціями часу, але залежно від потреб методів аналізу найчастіше використовують такі способи їх математичного опису:

- а) опис сигналу як функції часу - часовий опис;
- б) опис сигналу як деякої функції частоти - частотний (спектральний) опис;
- в) опис сигналу в операторній формі - операторний опис.

У багатьох випадках для спрощення аналізу проходження сигналів через електронні кола доцільно описати сигнал як сукупність вибраних певним чином елементарних (найпростіших) сигналів. До елементарних сигналів належать: гармонічне коливання, одиничний стрибок (функція Хевісайда), дельта-імпульс (функція Дірака). Гармонічне коливання використовують при частотному (спектральному) описі сигналів, а одиничний стрибок та дельта-імпульс - при часовому описі, який інколи називають динамічним описом.

4.Частотні спектри сигналів

Спектром коливання називають сукупність всіх елементарних гармонічних коливань і постійної складової, які в сумі утворюють дане складне гармонічне коливання.

Елементарним сигналом, який використовують при спектральному описі сигналів, є гармонічний сигнал.

$$s(t)=A_m\cos(\omega t+\varphi),$$

де A_m – амплітуда (максимальне відхилення від нульового значення), розмірність якої збігається з розмірністю сигналу;

ω – кутова швидкість, яку вимірюють у радіанах за секунду;

φ – початкова фаза, яку вимірюють в кутових одиницях (радіанах або градусах).

Аргумент гармонічного сигналу $\omega t+\varphi$ називають повною фазою.

Гармонічний сигнал належить до неперервних у часі сигналів, які теоретично існують на необмеженому часовому інтервалі і задовольняють умову періодичності, тобто повторення миттєвих значень через певний проміжок часу, який називають періодом:

$$s(t)=s(t\pm nT),$$

де T – період сигналу, n – довільне ціле число.

Суть спектрального опису складних сигналів полягає у тому, що їх подають у вигляді нескінченної суми елементарних гармонічних сигналів з різними амплітудами, частотами та початковими фазами.

Сукупність усіх елементарних гармонічних сигналів, які в сумі утворюють заданий складний сигнал, називають спектром цього сигналу у базисі гармонічних коливань.

Будь-яка періодична функція $f(t)$ може бути представлена рядом Фур'є у вигляді нескінченної суми гармонічних складових:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega_1 t + \varphi_k),$$

де A_0 – постійна складова (середнє значення сигналу за період);

$\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ - циклічна частота.

Амплітуди гармонічних складових A_k залежно від частоти $k\omega_1$ можуть бути представлені окремими відрізками висоти A_k , віддаленими від початку координат на відстані $\omega=k\omega_1$. Залежність $A_k=f(\omega)$ називають частотним спектром амплітуд.

Спектр складного періодичного сигналу, який в загальному випадку складається з постійної складової A_0 та нескінченної кількості гармонічних складових, частоти яких становлять дискретний ряд значень $k\omega_1$ ($k=1,2,3,\dots$), кратних основній частоті ω_1 . Ці складові називають гармоніками періодичного сигналу. Спектр, який складається з окремих складових, називають дискретним або лінійчастим. Гармоніку, яка відповідає номеру $k=1$, називають першою або основною гармонікою.

У загальному випадку гармоніки, які входять до складу спектра, мають різні амплітуди та початкові фази. Щоб отримати наочне уявлення про спектр

сигналу, використовують графічне зображення спектра у вигляді двох спектральних діаграм: амплітудної та фазової. Будуючи їх, на осі абсцис відкладають частоту, а на осі ординат – відповідно величини амплітуд A_k гармонік та їхні початкові фази φ_k .

Періодичні сигнали мають лінійчатий (дискретний) спектр (рис. 3.4). У загальному випадку спектри містять нескінченну кількість гармонік, амплітуди яких зменшуються зі зростанням k до нескінченно малої величини.

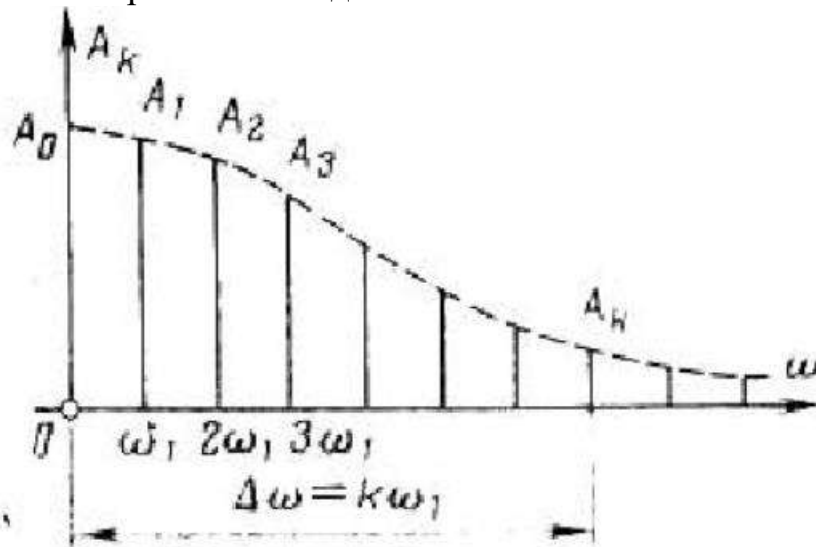


Рисунок 3.4 – Лінійчатий частотний спектр амплітуд

Для того, щоб забезпечити передавання сигналу без спотворень, необхідно передавати каналами зв'язку всю нескінченну кількість гармонік. Проте, на практиці здійснити це неможливо, оскільки для цього необхідно мати канал з нескінченно широким спектром частот. Тому обмежуються передачею лише частини гармонік, допускаючи у такому разі певний ступінь спотворення сигналу. **Шириною спектру** сигналу називають інтервал частот, який обмежує спектр сигналу за заданого ступеня його спотворення.

Якщо спектр сигналу є необмеженим, то при визначенні ширини нехтують гармоніками, амплітуди яких невеликі й не перевищують певного (заданого) рівня. Найбільш часто користуються рівнем 0,707 за амплітудою або 0,5 за потужністю від максимального значення.

Послідовність прямокутних імпульсів постійного струму (відеоімпульсів) має наступні спектральні складові (рис. 3.5):

- постійну складову

$$A_0 = U_m \frac{t_i}{T} ;$$

- складові k -х гармонік

$$A_k = \frac{2U_m}{k\pi} \sin\left(k\pi \cdot \frac{t_i}{T}\right).$$

Частота першої гармоніки становить $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$.

Амплітуди k -х гармонік набувають нульового значення за умови, що:

$$k\pi \cdot \frac{t_i}{T} = m\pi,$$

$$k = m \frac{T}{t_i},$$

k, m – цілі числа.

Так, для $T/t_i=2$, тобто за рівності тривалостей імпульсів і пауз, в розкладі будуть відсутні всі парні гармоніки ($A_k=0$ за значень $k=2, 4, 6$ тощо). На рис.3.5 наведено лінійчатий спектр періодичних прямокутних відеоімпульсів за значення $T/t_i=5$.

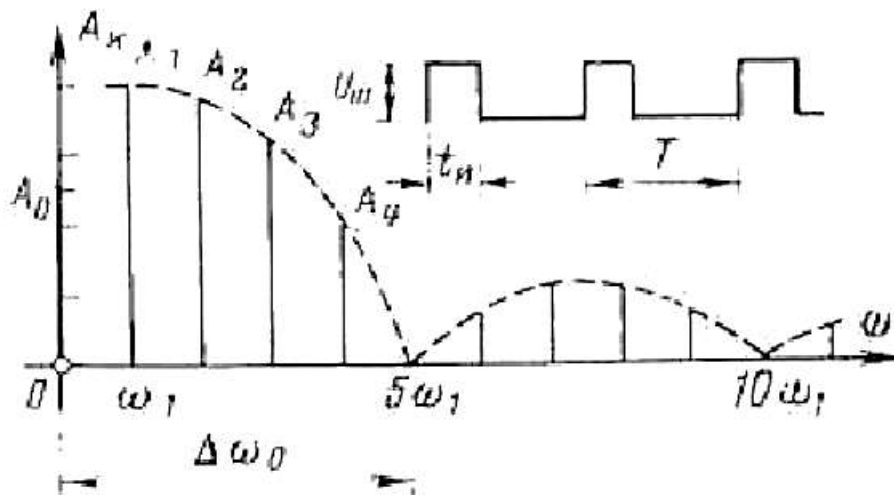


Рисунок 3.5 – Спектр періодичних прямокутних відеоімпульсів

Спектр прямокутних радіоімпульсів (рис. 3.6), тобто прямокутних імпульсів, наповнених несучою частотою $U_m \sin \omega_n t$, відрізняється від спектру прямокутних відеоімпульсів, що мають ту ж тривалість t_m та період повторення T , що і радіоімпульси, тим, що початок координат спектру відеоімпульсів переносять по осі ω в точку $\omega=\omega_n$ і симетрично відображають відносно нової осі ординат. Отже, складова спектру на несучій частоті:

$$A_{\omega_n} = U_m \frac{t_i}{T},$$

складові спектру k -х гармонік:

$$A_{\omega_n \pm k\omega_1} = \frac{U_m}{k\pi} \sin \left(k\pi \cdot \frac{t_i}{T} \right).$$

Спектри неперіодичних сигналів

Розглянемо лінійчатий спектр деякої періодичної функції (наприклад, послідовність прямокутних імпульсів). Спектральні лінії в такому спектрі відстають один від одного на значення $\omega_1=2\pi/T$.

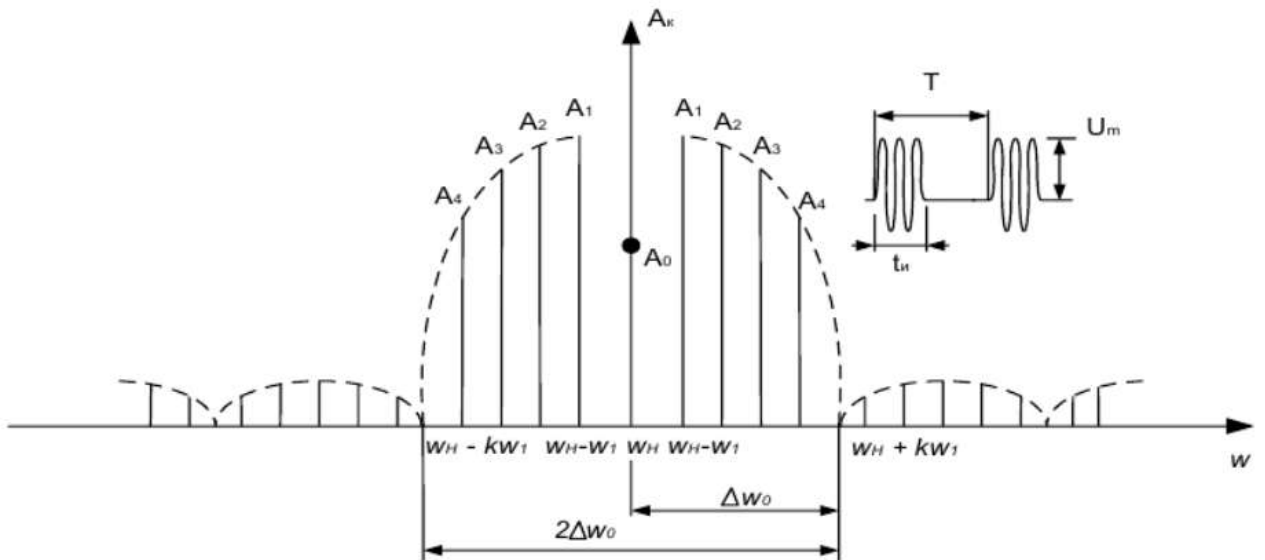


Рисунок 3.6 – Спектр періодичних прямокутних радіоімпульсів

Ординати ліній змінюються згідно із законом

$$A_k = \frac{U_m}{k\pi} \sin k\pi \frac{t_i}{T}.$$

Збільшимо період T в цій послідовності. У такому разі відстані між спектральними лініями скорочуються, а амплітуди зменшуються. За нескінченного збільшення T ($T \rightarrow \infty$) здійснюється перехід від періодичної функції до одиночного імпульсу, тобто до неперіодичної функції. У такому випадку відстань між лініями буде нескінченно малим значенням $d\omega$, а огинаючу амплітуд гармонік подають деякою безперервною функцією, що називають спектральною функцією $S(\omega)$. У такому випадку деяку неперіодичну безперервну функцію часу $f(t)$ подають через спектральну функцію за допомогою інтегралу Фур'є:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

У свою чергу спектральну функцію подають через функцію $f(t)$ таким чином:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Спектральна функція для одиночного прямокутного відео імпульсу, заданого виразами $u = U_m, -\frac{t_i}{2} \leq t \leq \frac{t_i}{2}$:

$$S(\omega) = \int_{-\frac{t_i}{2}}^{\frac{t_i}{2}} U_m e^{-j\omega t} dt = \frac{U_m}{j\omega} \left(e^{j\frac{\omega t_i}{2}} - e^{-j\frac{\omega t_i}{2}} \right).$$

Значення функції $S(\omega)$ досягає нульового значення за умови, що $\frac{\omega t_i}{2} = k\pi$, де $k=1, 2, \dots$, – цілі числа, тобто за значення

$$\omega = \frac{2k\pi}{t_i}$$

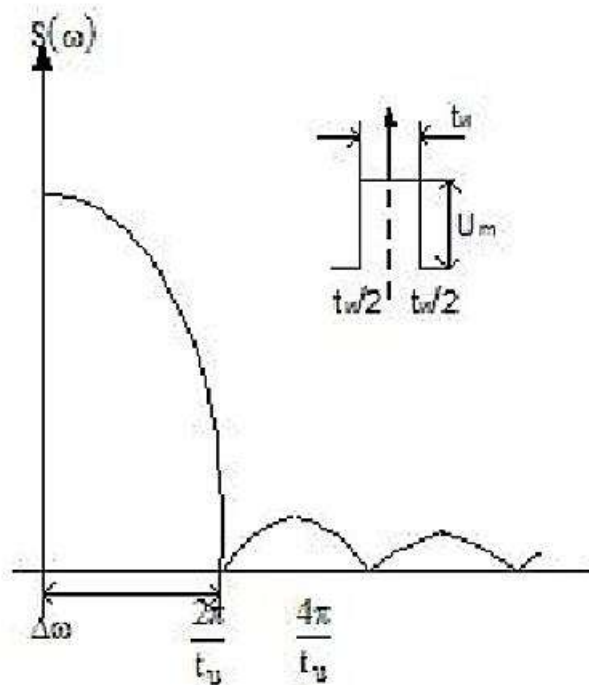


Рисунок 3.7 – Спектр одиночного відеоімпульсу

Основний спектр одиночного імпульсу поміщено між $\omega=0$ та $\omega = \frac{2\pi}{t_i}$.

Саме значення

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{t_i}$$

називають основним спектром одиночного імпульсу. В основному спектрі зосереджено до 90% енергії одиночного імпульсу.

Відповідно до виразу ширина спектру одиночного імпульсу збільшується за зменшення тривалості імпульсу, тобто чим довший імпульс, тим вужчу смугу частот він займає в каналі зв'язку.

Спектр одиночного радіоімпульсу з частотою наповнення $u=U_m \cos \omega t$ знаходиться з виразу:

$$S(\omega) = \int_{-\frac{t_i}{2}}^{\frac{t_i}{2}} U_m \cos \omega t \cdot e^{-j\omega t} dt.$$

Після перетворень виразу отримаємо:

$$S(\omega) = \frac{U_m}{\omega_n + \omega} \sin\left(\frac{\omega_n + \omega}{2} t_i\right) + \frac{U_m}{\omega_n - \omega} \sin\left(\frac{\omega_n - \omega}{2} t_i\right)$$

Спектральну функцію радіоімпульсу отримують із спектру відеоімпульса шляхом перенесення початку координат у точку ω_n і симетричного віддзеркалення відносно нової осі ординат спектру відеоімпульсу.

Спектр радіоімпульсу вдвічі ширший за спектр відеоімпульсу $\Delta\omega_{pi}=2\Delta\omega_{vi}$.

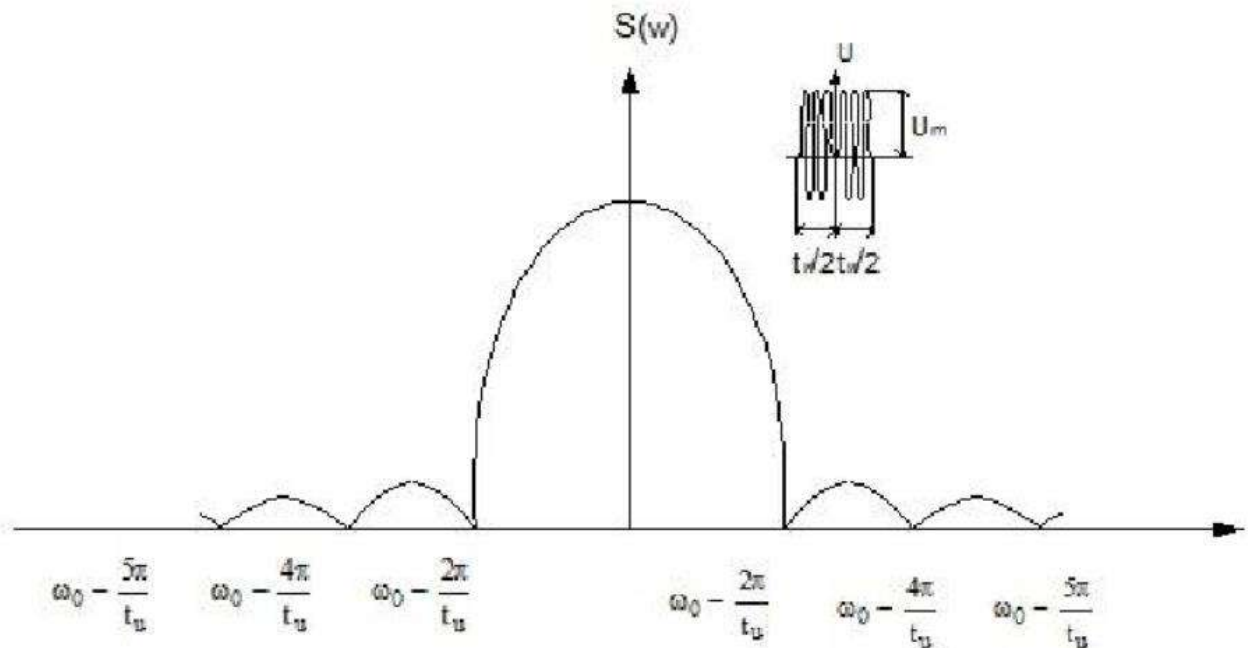


Рисунок 3.7 – Спектр періодичних прямокутних радіоімпульсів

5. Завадостійкість сигналів.

Завадами зазвичай називають сторонні електричні збурення, які накладаються на сигнал, що передається, та ускладнюють його прийом. При великій інтенсивності завад прийом стає практично неможливим.

Класифікація завад:

- а) завади від сусідніх радіопередавачів (станцій);
- б) завади від промислових установок;
- в) атмосферні завади (грози, опади);
- г) завади, обумовлені проходженням електромагнітних хвиль через шари атмосфери: тропосферу, іоносферу;
- д) теплові і дробові шуми в елементах радіокілів, обумовлені тепловим рухом електронів.

В математичному описі завади є випадковими функціями часу. Як правило, завади належать до класу стаціонарних випадкових процесів. Основний розподіл більшості шумових сигналів – нормальний (гаусівський). Це пояснюється тим, що розподіл сум незалежних випадкових величин, з яких складаються випадкові завади, сходиться до нормального, незалежно від характеру розподілу доданків (теорема Ляпунова).

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.

Під час передавання сигналів по каналах телемеханіки виникають спотворення сигналу, обумовлені наявністю в каналі перехідних процесів та дією завад. В результаті наявності спотворень (рис.3.8 б) і дії завад (рис.3.8,в), форма сигналу на виході каналу (рис.3.8,г) відрізняється від його форми на вході (рис.3.8, а). Пороговий пристрій на виході каналу відновлює прямокутну форму елементів сигналу (рис.3.8, д), проте значимі моменти (ЗМ) створює в ті моменти часу t_{i1} , в які напруга сигналу на виході каналу обертається в нуль (у випадку двополярного сигналу). В результаті ЗМ на прийманні t_{i1} не співпадає з відповідними ЗМ на передаванні t_i . При цьому завжди має місце нерівність $t_{i1} > t_i$, оскільки внаслідок скінченного часу поширення ЗМ на прийомі запізнюється у порівнянні з відповідними ЗМ на передаванні. Якщо б усі ЗМ на прийомі запізнювалися на однаковий час, то був би простий зсув сигналу в часі без спотворення його форми.

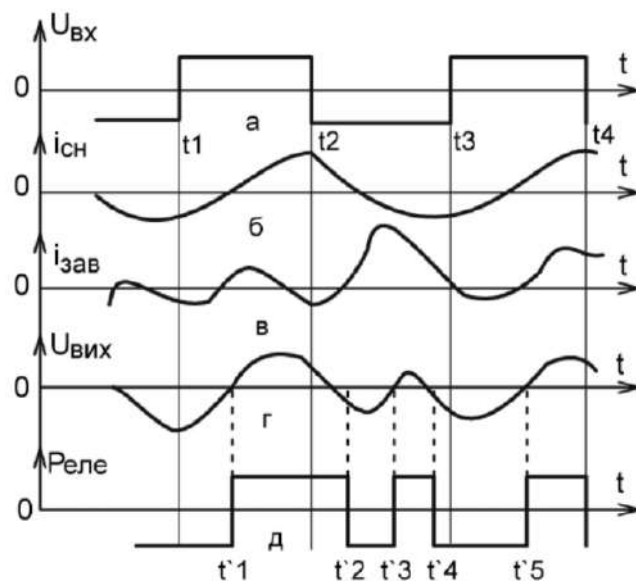


Рисунок 3.8 – Спотворення сигналу внаслідок перехідних процесів та дії завад: а) форма сигналу на вході; б) спотворюючий струм; в) завада; г) форма сигналу на виході каналу; д) форма сигналу на виході каналу

6. Завадостійкість приймача Котельникова

Основні вимоги, що висуваються до якості передачі (ефективність та достовірність) є взаємно виключними. Будь-яке збільшення надлишковості робить передачу більш достовірною, але знижує швидкість і навпаки. Тому при проектуванні пристроїв передачі даних шукають компромісні рішення. Для порівняння різних способів передачі по завадо захищеності та ефективності необхідно шукати певний критерій.

Такий критерій, запропонований Котельниковим, дозволяє визначати кількісну оцінку різних методів передачі в умовах слабких завад. На основі цього показана принципова можливість існування ідеального приймача, який має потенційно найбільшу завадозахищеність для заданого способу передачі. Ідеальний приймач порівнює спотворений сигнал з декількома зразками

сигналів, вираховує відмінність їх енергій і співставляє прийнятий сигнал з тим зразком, для якого ця різниця виявляється мінімальною.

За умов дії флуктуаційних завад такий приймач має найбільшу завадостійкість.

Нехай $X(t)$ – сигнал, спотворений завадою; $A_1(t)$, $A_2(t)$ – зразки. Різницю енергій обчислюють за формулами:

$$\Delta W_1 = \int_0^T [X(t) - A_1(t)]^2 dt,$$

$$\Delta W_2 = \int_0^T [X(t) - A_2(t)]^2 dt.$$

До приймання обирають сигнал, який має меншу різницю, тобто, якщо $\Delta W_2 - \Delta W_1 > 0$, то сигнал відносять до $A_1(t)$ і навпаки.

Енергетичний параметр завади $a_0^2 = \frac{W_c}{P_s}$

$$a_0 = \sqrt{a_0^2} = \frac{1}{n_0} \sqrt{\int_0^\tau [A_1(t) - A_2(t)]^2 dt},$$

де n_0 – питома потужність завади; A_1 , A_2 – сигнали "0" та "1".

Вважаючи, що канал зв'язку симетричний, тобто що ймовірності помилкового прийняття 0 за 1 і навпаки однакові (тоді поріг $U_0/U_M = a_0^2$), розглянемо завадостійкість приймача для двох дискретних сигналів при різних імпульсних ознаках

а) Амплітудна ознака "так-ні":

для відеосигналу: $A_1(t) = U_m$; $A_2(t) = 0$; де τ – тривалість імпульсу.

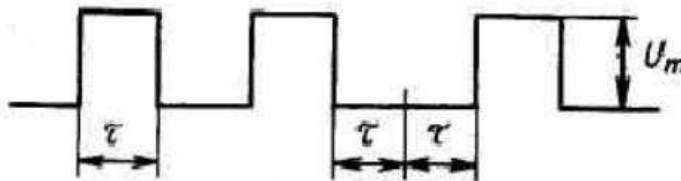


Рисунок 3.9 – Форма відеосигналу

Тоді для відеосигналу отримаємо:

$$a_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{n_0};$$

для радіосигналу: $A_1(t) = U_m \sin \omega t$, τ ; $A_2(t) = 0$;

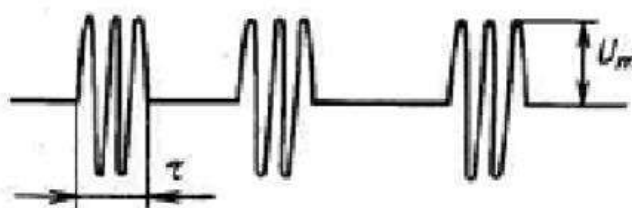


Рисунок 3.10 – Форма радіосигналу

Для радіосигналу

$$a_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sqrt{2} n_0}.$$

Чим більше a_0 , тим більша завадостійкість прийому; отже, за однакових амплітуд a_0 відеосигналу більша a_0 радіосигналу, бо енергія сталого струму більша за енергію змінного струму.

б) Частотна ознака:

$$A_1(t) = U_m \sin \omega_1 t, \tau$$

$$A_2(t) = U_m \sin \omega_2 t, \tau$$

$$a_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{n_0}$$

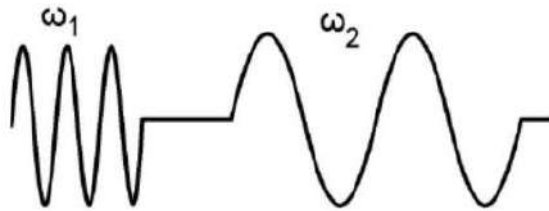


Рисунок 3.11 – Два сигнали з різними частотами ω_1 та ω_2

Отже, при частотній модуляції завадостійкість радіосигналу зростає до завадостійкості сталого струму (відеоімпульсів).

в) Полярна ознака.

$$A_1(t) = U_m, \tau;$$

$$A_2(t) = -U_m, \tau.$$

$$a_0 = \frac{2U_m \sqrt{\tau}}{n_0}$$

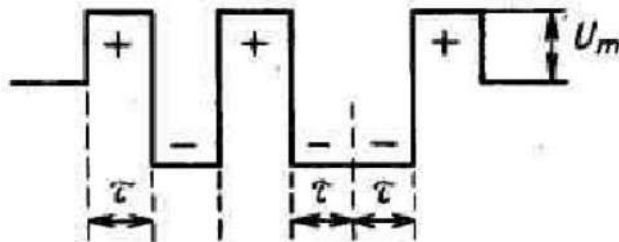


Рисунок 3.12 – Відеосигнал з полярною ознакою

Полярна імпульсна ознака є найбільш завадостійкою.

г) Широтно-імпульсна ознака

$$A_1(t) = U_m, \tau_1;$$

$$A_2(t) = U_m, \tau_2.$$

$$a_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau_2 - \tau_1}}{n_0}$$

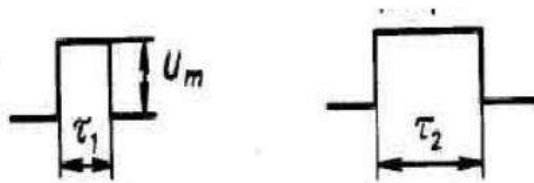


Рисунок 3.13 – Відеосигнал з широтно-імпульсною ознакою

Завадостійкість широтно-імпульсної ознаки залежить від різниці тривалостей імпульсів "0" та "1" і може бути збільшена, залежно від зростання різниці ($\tau_2 - \tau_1$).

Ймовірність помилкового прийому можна зменшити за рахунок контролю якості сигналу: за сумнівних якостей сигнал відбраковують (забороняють для виконання або вимагають підтвердження).

Тема 4. Елементи та вузли пристроїв телемеханіки

1. Класифікація елементів телемеханіки.
2. Елементи на інтегральних мікросхемах.
3. Логічні елементи. Тригери. Дешифратори. Шифратори. Лічильники. Регістри.
4. Мікропроцесорні контролери.
5. Перетворювачі інформації (АЦП, ЦАП)

1. Класифікація елементів телемеханіки.

Будь-яка система або пристрій автоматики та телемеханіки виконується з цілого ряду вузлів, блоків чи субблоків, що збираються з певних елементів. Елемент перетворює вплив, який він отримав від попереднього елемента або вузла, та передає до наступного елемента або вузла. Якщо для такого перетворення на елемент подається додаткова енергія, то за певних умов він може здійснити й підсилення поданого впливу.

До елементів можна віднести електронні лампи, електромагнітні реле, напівпровідникові прилади (діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми), магнітні елементи, лампи тліючого розряду, котушки індуктивності, конденсатори, резистори тощо.

Всі основні елементи можна поділити на три групи:

- з використанням безконтактної технології;
- контактні елементи (електромагнітні реле);
- елементи з ниткою розжарення (електронні, освітлювальні тощо).

До безконтактних елементів відносять напівпровідникові прилади, тиратрони тліючого розряду і феромагнітні елементи. Крім значного терміну експлуатації, вони потребують меншого догляду в процесі експлуатації, краще переносять вібрацію, можуть працювати у вологих, запилених чи агресивних середовищах, споживають значно менше енергії.

Історично першими дискретними схемами автоматики були схеми, побудовані на основі електромеханічних контактних апаратів (реле, контакторів, магнітних пускачів та ін.). Потім почали використовувати безконтактні релейні елементи, які отримали назву логічних елементів. У цих елементах використовували транзистори, діоди, резистори, магнітні осердя з обмотками тощо. Надалі, у зв'язку з розвитком інтегральної мікроелектроніки, для побудови схем автоматики стали широко застосовувати інтегральні мікросхеми.

У телемеханіці безконтактні елементи повністю замінили електронні лампи, але остаточно витіснити контактні елементи не змогли. Оскільки не завжди доцільно ускладнювати схему і замінювати виконавчі електромагнітні реле в пристроях телемеханіки, наприклад, тиристорами, якщо вони вмикаються декілька разів на годину, а іноді й значно рідше.

2. Елементи на інтегральних мікросхемах.

Використання електронних пристроїв для розв'язання найскладніших задач призводить до постійного ускладнення їхніх електронних схем. Аналіз розвитку електронної техніки показує, що упродовж десяти років складність електронних пристроїв збільшується приблизно вдесятеро. Якщо десять років тому використовували електронні пристрої з кількістю активних елементів до 10^7 , то сьогодні є електронні пристрої з кількістю елементів близько 10^8 . За той самий час істотно зросла швидкодія електронних пристроїв, зменшилися їхні габарити, зокрема, і напівпровідникових приладів. Розміри одного активного елемента зменшилися до 0,2 мкм, що дає змогу розміщувати в одній мікросхемі 10^6 – 10^7 елементів. Створення нових електронних пристроїв з великою кількістю елементів стало можливим на базі мікроелектроніки та наноелектроніки. Це новий напрям електроніки, який охоплює проблеми створення мікромініатюрних електронних пристроїв, що відрізняються надійністю, низькою вартістю, високою швидкістю і малою споживаною потужністю. Основним конструктивно-технічним принципом мікроелектроніки є елементна інтеграція – об'єднання в одному складному мініатюрному компоненті багатьох найпростіших елементів (діодів, транзисторів, резисторів тощо). Отриманий в результаті такого об'єднання складний мікрокомпонент називають інтегральною мікросхемою (ІМС).

Інтегральна мікросхема – мікроелектронний виріб, до складу якого входить не менше ніж п'ять активних елементів (транзисторів, діодів) і пасивних елементів (резисторів, конденсаторів), які виготовляють в одному технологічному процесі. Ці елементи електрично з'єднані між собою, вміщені в загальний корпус і є нероздільним цілим.

Інтегральна мікросхема – мініатюрний мікроелектронний виріб, елементи якого нерозривно пов'язані конструктивно, технологічно та електрично. Виконує певні функції перетворення, оброблення сигналу, накопичення інформації та має високу щільність упакування електрично з'єднаних між собою елементів і компонентів, які є одним цілим з точки зору вимог до випробувань та експлуатації.

Класифікація інтегральних схем. В залежності від технології виготовлення ІМС розрізняють:

- напівпровідникові мікросхема (монолітні) – всі елементи і міжелементні з'єднання виконані на одному напівпровідниковому кристалі (наприклад, кремнії, германії, арсеніді галію, оксиді гафнію). Щільність упакування сучасних напівпровідникових ІМС сягає 10^5 елементів на 1 см^2 для шостого ступеня інтеграції. Лінійні розміри окремих елементів і відстані між ними можуть бути зменшені до 1 мкм.

- плівкові інтегральні мікросхеми – всі елементи та міжелементні з'єднання виконані у вигляді плівок. Висока точність виконання плівкових елементів може бути використана під час виготовлення мікросхем за суміщеною технологією, в якій активні і частину пасивних елементів виконують в об'ємі напівпровідника, а іншу частину пасивних елементів – на

його поверхні в тонкоплівковому виконанні. Застосування двох технологій підвищує вартість таких ІМС, проте дає змогу істотно збільшити точність їхніх параметрів.

- гібридні мікросхеми (мікробірки) – крім напівпровідникового кристалу містить трохи безкорпусних діодів, транзисторів і (або) інших електронних компонентів, поміщених в один корпус. Щільність упакування гібридних ІМС дещо менша – до 150 елементів на 1 см^2 , ступінь інтеграції – перший і другий. Гібридні ІМС перспективні для пристроїв з невеликою кількістю елементів, в яких може бути забезпечена висока точність параметрів.

Останнім часом застосовують суміщену технологію, за якою в гібридних мікросхемах як навісні компоненти використовують безкорпусні напівпровідникові ІМС. За такою технологією виготовляють мікросхеми до шостого ступеня інтеграції для швидкодіючих ЕОМ.

За видом оброблюваної інформації – поділяють на цифрові та аналогові.

Аналогові ІМС призначені для оброблення та перетворення аналогових сигналів і реалізують такі основні аналогові функції: підсилення, порівняння, перемноження, обмеження, частотну фільтрацію. Кожна із названих функцій є відповідною математичною операцією, яку здійснюють ІМС над аналоговими сигналами:

- функція підсилення – це збільшення миттєвих значень сигналу в K разів без нелінійних спотворень у необмеженій смузі частот;
- функція порівняння – це зіставлення двох аналогових сигналів з деякою заданою точністю;
- функція перемноження дає змогу отримати результат перемноження двох аналогових сигналів;
- функція обмеження встановлює межі допустимих змін миттєвих значень сигналу, які він не може перейти. Розрізняють обмеження зверху, знизу та двостороннє обмеження;
- функція частотної фільтрації – це виділення потрібного діапазону частот із повного спектра сигналу, в якому здійснюється передавання його гармонік.

Перелічені основні аналогові функції утворюють у сукупності повний набір операцій, необхідних для перетворення та оброблення аналогових сигналів. Аналогові ІМС виготовляють переважно у вигляді напівпровідникових ІМС та великих інтегральних мікросхем (ВІС).

Цифрові ІМС призначені для оброблення та перетворення цифрових сигналів і реалізують логічні та арифметичні операції та операції запам'ятовування цифрової інформації. При цьому звичайно використовують двійкову систему числення. Двійкова система порівняно з іншими системами дає змогу найпростіше реалізувати арифметичні дії.

Основою будови цифрових ІМС є так звані логічні елементи, тобто електронні схеми, які виконують найпростіші логічні операції, до яких належать:

- операція логічного заперечення (інверсія) – функція “НЕ”;

- операція логічного додавання (диз'юнкція) – функція “АБО”;
- операція логічного множення (кон'юнкція) – функція “І”.

Ці елементарні логічні функції утворюють так званий основний логічний базис. З їхньою допомогою можна реалізувати будь-яку складну логічну функцію. Інтегральні логічні елементи становлять основу складніших мікросхем та цифрових пристроїв і систем. Найпоширенішими є цифрові ІМС на біполярних та МДН-транзисторах.

З погляду інтеграції основними параметрами ІМС є щільність упакування і ступінь інтеграції. Щільність упакування характеризується кількістю елементів в одиниці об'єму ІМС, ступінь інтеграції – кількістю елементів, які входять до складу ІМС. За ступенем інтеграції всі ІМС поділяють на: ІМС першого ступеня інтеграції – до 10 елементів, другого ступеня – від 10 до 100 елементів, третього ступеня – від 100 до 1000 елементів і т.д.

За ступенем інтеграції вирізняють:

- мала інтегральна схема (МІС) – до 100 елементів у кристалі,
- середня інтегральна схема (СІС) – до 1000 елементів в кристалі,
- велика інтегральна схема (ВІС) – до 10 тис. елементів в кристалі,
- надвелика інтегральна схема (НВІС, VLSI – англ. very-large-scale integration) – понад 10 тисяч елементів в кристалі.

Застосування мікросхем істотно збільшує надійність електронних пристроїв, тому що надійність мікросхем загалом, до складу яких входить велика кількість елементів, не поступається надійності окремих транзисторів, діодів, резисторів.

На відміну від напівпровідникових діодів і транзисторів, ІМС є не окремими елементами, а цілими функціональними вузлами, призначеними для перетворення електричних сигналів.

3. Логічні елементи. Тригери. Дешифратори. Шифратори. Лічильники. Регістри

Логічний елемент – пристрій, призначений для обробки інформації в цифровій формі (послідовності сигналів високого – «1» і низького – «0» рівнів у двійковій логіці, послідовність «0», «1» та «2» в трійковій логіці, послідовності «0», «1», «2», «3», «4», «5», «6», «7», «8» та «9» в десятковій логіці). Фізично логічні елементи можуть бути виконані механічними, електромеханічними (на електромагнітних реле), електронними (на діодах і транзисторах), пневматичними, гідравлічними, оптичними способами тощо.

Логічний елемент (ЛЕ) – це електронний пристрій, що реалізує одну з логічних операцій. Логічні елементи являють собою електронні пристрої, у яких оброблювана інформація закодована у вигляді двійкових чисел, відображуваних напругою (сигналом) високого і низького рівня. Термін «логічні» прийшов в електроніку з алгебри логіки, що оперує зі змінними величинами і їхніми функціями, що можуть приймати тільки два значення: «істинно» чи «хибно». Для позначення чи істинності хибності висловлень використовують відповідно символи 1 чи 0. Кожна логічна змінна може

приймати тільки одне значення: 1 чи 0.

Функціональні залежності між логічними змінними можуть бути описані логічними формулами або таблицями істинності. У таблиці істинності відображаються всі можливі поєднання (комбінації) входних змінних і відповідні їм значення функції Y , що виходять в результаті виконання якої-небудь логічної операції.

Основними логічними функціями є:

- логічне заперечення (інверсія)
- логічне додавання (диз'юнкція)
- логічне множення (кон'юнкція)

До більш складних функцій алгебри логіки відносяться:

- функція рівнозначності (еквівалентності)
- функція нерівнозначності (додавання по модулі два)
- функція Пірса (логічне додавання з запереченням)
- функція Шеффера (логічне множення з запереченням)

В основі алгебри логіки і схем цифрової техніки лежать три основні елементарні операції: І - логічне множення, або кон'юнкція, АБО - логічне додавання, або диз'юнкція та НЕ - логічне заперечення, або інверсія.

Ці три функції разом дозволяють записати будь-яку іншу, як завгодно складну логічну операцію. Цю властивість називають функціональною повнотою, а три логічні операції І, АБО, НЕ разом називають базисними операціями (функціями) або коротко базисом.

Логічний елемент НЕ називається інвертором. Він є найпростішим елементом з одним входом і одним виходом.

Елемент НЕ змінює значення напруги входного логічного сигналу так, що на виході елемента з'являється напруга з логічно протилежним значенням: якщо на вході схеми 0, то на виході 1; якщо на вході 1 на виході 0. Його умовне графічне позначення і таблиця істинності представлені на рис. 4.1.

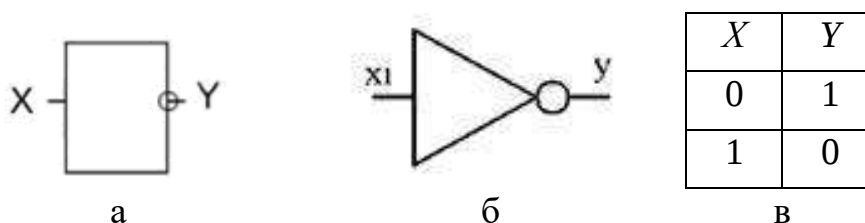
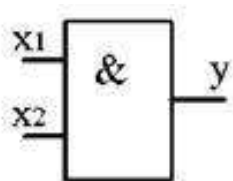
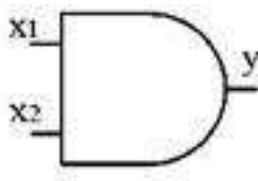


Рисунок 4.1 – Умовне графічне позначення (а – вітчизняне, б – міжнародне) і таблиця істинності (в) елемента НЕ

Схема «І» (рис. 4.2) реалізує кон'юнкцію (логічне множення) двох або більше логічних значень. Одиниця на виході схеми «І» буде тоді і тільки тоді, коли на всіх входах будуть одиниці. Коли хоча б на одному вході буде нуль, на виході також буде нуль.



а



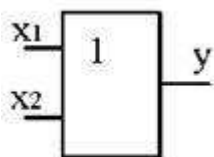
б

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

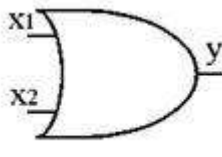
в

Рисунок 4.2 – Умовне графічне позначення (а – вітчизняне, б – міжнародне) і таблиця істинності (в) двовхідного елемента І

Схема «АБО» реалізовує диз'юнкцію (логічне додавання) двох або більш логічних значень. Коли хоча б на одному вході схеми «АБО» буде одиниця, на її виході також буде одиниця. Нуль на виході одержуємо тільки тоді, коли на всіх входах нулі. На схемі операція диз'юнкції позначається знаком «1».



а



б

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

в

Рисунок 4.3 – Умовне графічне позначення (а – вітчизняне, б – міжнародне) і таблиця істинності (в) двовхідного елемента АБО

Окрім описаних, існує множина логічних елементів, що виконують більш складні логічні перетворення. Ці перетворення є комбінаціями найпростіших логічних операцій.

Тригер (англ. trigger, flip-flop) – електронна логічна схема, що має два стійкі стани, в яких може перебувати доки не зміниться відповідним чином сигнали керування. Напруги і струми на виході тригера можуть змінюватися стрибкоподібно.

Тригери широко використовуються для формування імпульсів, у генераторах одиничних сигналів, для побудови подільників частоти, лічильників, перерахункових пристроїв, регістрів, суматорів, у пристроях керування тощо. У більшості серій інтегральних елементів містяться тригери різних типів, у тому числі універсальні.

Класифікація тригерів.

- за способом організації логічних зв'язків розрізняють тригери з запуском (RS-тригери); з лічильним входом (Т-тригери); тригери затримки (D-тригери); універсальні (JK-тригери); комбіновані (наприклад, RST-, JKRS-, DRS-тригери).

- за способом запису інформації тригери поділяють на несинхронізовані (асинхронні, нетактові) і синхронізовані (тактові). *Асинхронні тригери* сприймають інформаційні сигнали та реагують на них безпосередньо в момент їх появи на інформаційних входах тригера. *Синхронні тригери* реагують на

інформаційні сигнали за умов наявності дозволяючого сигналу на спеціальному керуючому вході C , який називають входом синхронізації.

- За принципом побудови синхронні тригери можна поділити на *одноступеневі* та *двоступеневі*. *Одноступеневі тригери* мають лише один ступінь запам'ятовування інформації, а у *двоступеневих* тригерах таких ступенів два. Спочатку інформація записується у перший ступінь, потім переноситься у другий і потрапляє на вихід тригера. *Двоступеневі тригери* також називають тригерами типу MS (від англійського *Master – Slave*, тобто «майстер – помічник»). Ця аббревіатура відображає характер роботи тригера: вхідна ступень виробляє нове значення вихідної змінної Q , а вихідна ступень його копіює.

- за кількістю інформаційних входів тригери можуть бути з одним, двома та багатьма входами.

- за способом запам'ятовування інформації тригери можуть бути з логічною і фізичною організацією пам'яті. Перші виконують на логічних елементах І, АБО, НЕ, І-НЕ, АБО-НЕ, І-АБО-НЕ тощо, а другі є елементами запам'ятовувальних пристроїв, у яких використовують нелінійні властивості матеріалів або нелінійні вольт-амперні характеристики компонентів.

З класифікації тригерів за їх функціональними можливостями стає зрозумілим, що назва тригера за цією ознакою цілком визначається типами його входів. Тригер будь-якого типу має два виходи: прямий Q та інверсний $\bar{Q}$. Стан тригера визначається за прямим виходом.

Головними показниками тригерів є їх швидкодія, чутливість, потужність, що споживається від джерела живлення, захищеність від перешкод та функціональні можливості.

Для повного визначення тригера достатньо задати його структурну схему на підставі базових логічних елементів (частіше за все використовують елементи І-НЕ, АБО-НЕ) та закон функціонування тригера у вигляді логічної функції або таблиці переходів.

В основі тригерів всіх типів лежить основний (базовий) RS -тригер з прямими або інверсними входами.

Асинхронний RS -тригер з прямими входами має два інформаційні входи R та S , які використовуються для встановлення його відповідно у стан 0 та 1, а також два виходи: прямий Q та інверсний $\bar{Q}$. Цей тригер побудований на двох логічних елементах АБО-НЕ, які об'єднано у контур. Схема та графічне позначення тригера подані на рис. 4.4 а,б відповідно.

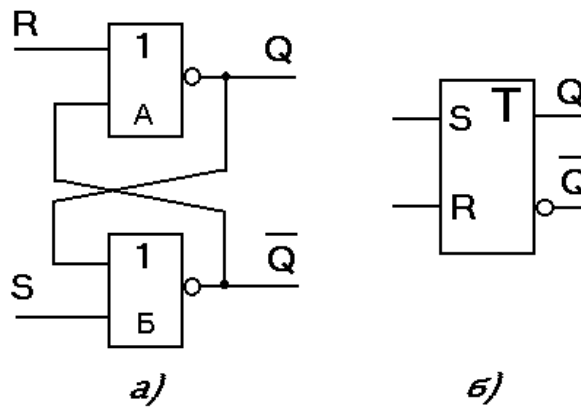


Рисунок 4.4 – Асинхронний RS-тригер з прямими входами: а – схема з'єднання логічних елементів, б – позначення на схемах

У цій схемі вихід кожного елемента АБО-НЕ підключено до одного із входів іншого елемента. Саме таке з'єднання й забезпечує два стійких стани тригера. У RS - тригерах з прямими входами сигналами управління є тільки одиничні рівні сигналів. Сигнали, які призводять до перемикання елементів, називають *активними*, а ті, які не призводять до такого перемикання – *пасивними*. Для елементів АБО-НЕ активним сигналом є сигнал логічної 1.

Перемикання тригера з одного стійкого стану до іншого відбувається при надходженні активних сигналів на входи. Якщо $R=1$, тобто, якщо тригер знаходився у стані 0 ($Q=0$), то цей стан не зміниться. Якщо ж тригер знаходився у стані 1, то при надходженні сигналу $R=1$ він перейде до стану 0. Аналогічно, якщо $S=1$, то $Q=1$.

Одночасне надходження активних сигналів 1 на обидва входи ($S=R=1$) є неприпустимим, через те, що при цьому на обох входах встановлюється стан 0, а після припинення дії активних сигналів стан тригера лишатиметься невизначеним: через випадкові чинники тригер може перейти до стану 1 або 0.

Універсальний JK-тригер функціонує майже так само, як і звичайний RS-тригер. При цьому вхід J виконує роль входу S, а вхід K – входу R. Таким чином, активний сигнал (рівень логічної 1), поданий на вхід J, переводить тригер у стан 1, а поданий на вхід K – у стан 0. Різниця полягає лише у тому, що при $J=K=1$ тригер змінює свій стан на протилежний. JK-тригер не має заборонених комбінацій входних сигналів, наявність яких була головною вадою RS-тригерів.

Найпростіший JK-тригер у базисі І-НЕ можна побудувати на тому ж наборі елементів, що й розглянутий вище синхронний RS-тригер. Схема такого тригера подана на рис. 4.5.

На практиці застосовуються значно складніші схеми JK-тригерів ніж та, яку ми щойно розглянули.

По-перше, реальні JK-тригери завжди мають вхід синхронізації для розширення їх функціональних можливостей.

По-друге, синхронні JK-тригери завжди мають двохступеневе запам'ятовування інформації. У цьому випадку вони мають у своєму складі два

RS-тригери, один з яких називають керованим, а другий – керуючим. Часто такі тригери називають *MS*-тригерами (від англ. *Master-Slave*). Така побудова синхронних тригерів (не тільки *JK*, але й будь-яких типів) дозволяє усунути можливість встановлення тригера у невизначений стан через перехідні процеси при перемиканні або при короткочасних змінах вхідних сигналів. Графічне позначення двохступеневого синхронного *JK*-тригера наведено на рис.4.6.

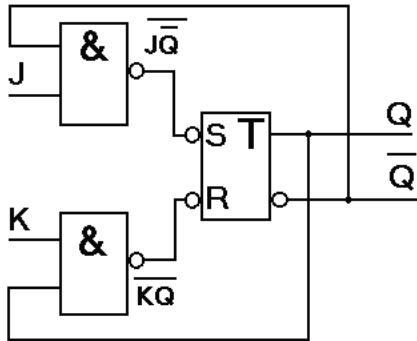


Рисунок 4.5 – Схема *JK*-тригера

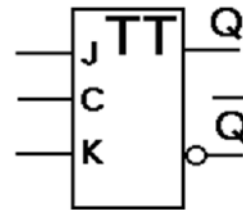


Рисунок 4.6 – Позначення двохступеневого синхронного *JK*-тригера

Тригер з лічильним входом (Т-тригер). Як було розглянуто раніше, при надходженні на обидва інформаційні входи *JK*-тригера рівней логічної 1 ($J=K=1$), він переходить до протилежного стану. З цієї точки зору найбільш доцільним способом перетворення *JK*-тригера на *T*-тригер є просте об'єднання його *J* і *K*-входів для отримання лічильного *T*-входу, як це зображено на рис.4.7, а.

На практиці частіше за все використовують схему *T*-тригера, у якій у якості *T*-входу використовують вхід *C* синхронного *JK*-тригера, а на *J, K* входи подають рівень логічної 1, як це зображено на рис.4.7, б. Алгоритм функціонування *T*-тригера. Умовне графічне зображення тригера показано на рис.4.7, в.

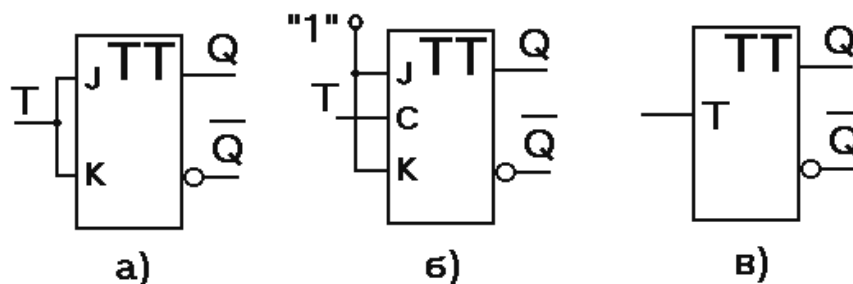


Рисунок 4.7 – Побудова *T*-тригера на основі *JK* (а, б); позначення на схемах (в)

Тригер затримки (D-тригер). *D*-тригер має один інформаційний вхід (*D*-вхід) і вхід синхронізації *C*. Цей тригер завжди побудовано як синхронний та двохступеневий. Головне призначення *D*-тригера – затримка сигналу, який подано на вхід *D*. *D*-тригер може бути отриманий з *JK*-тригера після об'єднання входу *K* з входом *J* через інвертор так, як це зображено на рис.4.8, а. Отриманий таким чином вхід називають *D*-входом. При $C=0$ тригер може необмежений час

зберігати раніше встановлений стан. При $C=1$, інформація, що надходить на вхід D , потрапляє до тригера, але на виході його вона з'явиться з затримкою на один такт. Графічне позначення D -тригера зображено на рис.4.8, б.

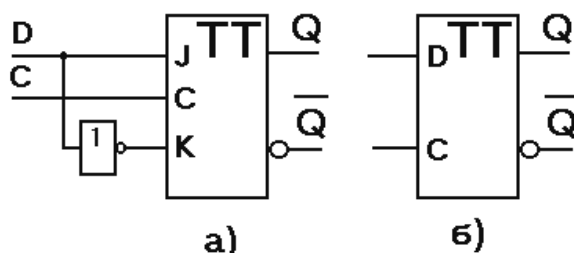


Рисунок 4.8 – Побудова D -тригера на основі JK (а); його позначення на схемах (б)

Розглянуті далі функціональні вузли належать до числа основних, застосовуваних в телемеханіці. Їх використовують як самостійно, так і під час побудови складніших схем, виконаних на цифрових інтегральних ІМС.

Дешифратор – пристрій, що перетворює кодові комбінації в струм (напругу) і розподіляє його за індивідуальними ланцюгами. Кожна кодова комбінація, що подається на вхід дешифратора, збуджує лише один вихід, що відповідає коду C_n^j . Кодові комбінації є комбінаціями двійкового або двійково-десятькового коду. Складніші коди заздалегідь перетворюють в двійкові коди.

Дешифратор має ряд входів, на які надходять кодові комбінації, і ряд виходів (індивідуальних ланцюгів), кожен з яких відповідає певній кодовій комбінації, що надходить на вхід. Ці виходи нумерують в десятковій системі числення. Тому, дешифратори перетворюють різні варіанти двійкових кодів в десятковий код або, точніше, в код C_n^j , кодові комбінації якого перенумеровані в десятковій системі числення. Наприклад, якщо дешифрується п'ятирозрядний двійковий код, то дешифратор повинен мати п'ять входів і 32 виходи, а комбінації, що подається на вхід, наприклад, комбінації 11001 відповідатиме сигнал 1 лише на одному-єдиному виході під номером 25, а на всіх інших виходах будуть сигнали 0.

Найпростіший дешифратор, виконаний на елементах І та НІ (рис. 4.9, а), називається лінійним. На рис. 4,9. б показане його умовне позначення.

Найпростіший дешифратор має два входи і чотири виходи. У випадку, коли на входи нічого не подається (комбінація 00), з елемента І знімається сигнал 1, а з інших виходів - сигнали 0.

Шифратор – пристрій, що перетворює код C_n^j в двійковий. Це означає, що шифратор виконує функції, зворотні дешифратору. Дійсно, якщо в дешифраторі сигнал подається на кілька входів і збуджує тільки один вихід, то в шифраторі сигнал надходить лише на один вхід, утворюючи двійкового коду на декількох виходах. Функціональна схема шифратора наведена на рис. 4.10.

Лічильник – пристрій, призначений для підрахунку імпульсів і широко використовуються під час побудови різних вузлів систем телемеханіки.

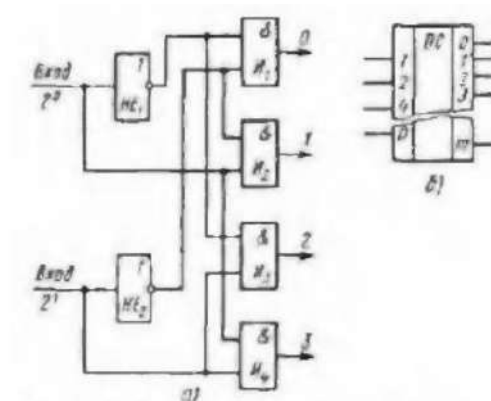


Рисунок 4.9 – Функціональна схема (а) та умовне позначення (б) лінійного дешифратора

Лічильники виконуються на тригерах і бувають асинхронні (послідовні) та синхронні (паралельні). Асинхронні лічильники менш швидкодіючі, ніж синхронні, внаслідок того що в них тригери перемикаються по чергово, а в синхронних – одночасно. Функціональна схема асинхронного лічильника на рахункових тригерах наведена на рис. 4.11, а, часова діаграма його роботи - на рис. 4.11, в. На рис. 4.11, б наведено умовне позначення такого лічильника.

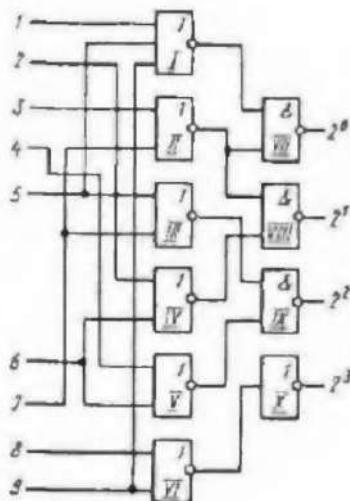


Рисунок 4.10 – Функціональна схема шифратора

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 по чергове 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).

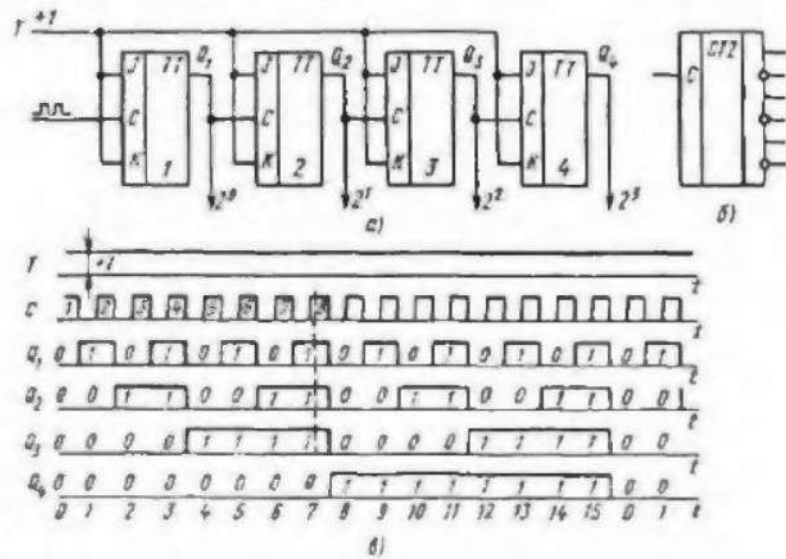


Рисунок 4.11 – Асинхронний двійковий лічильник: а) функціональна схема; б) умовне позначення; в) часова діаграма

На рис.4.12.а представлена структурна схема, загальна як для регістра, так і для розподільника. Тут $Я_{ч1}$ - $Я_{чn}$ – комірки, або елементи, розподільника (регістра), в яких почергово записується інформація, що надходить на вхід. Просування записаної інформації з комірки в комірку здійснюється тактовими імпульсами за допомогою ланцюгів зв'язку ЦС.

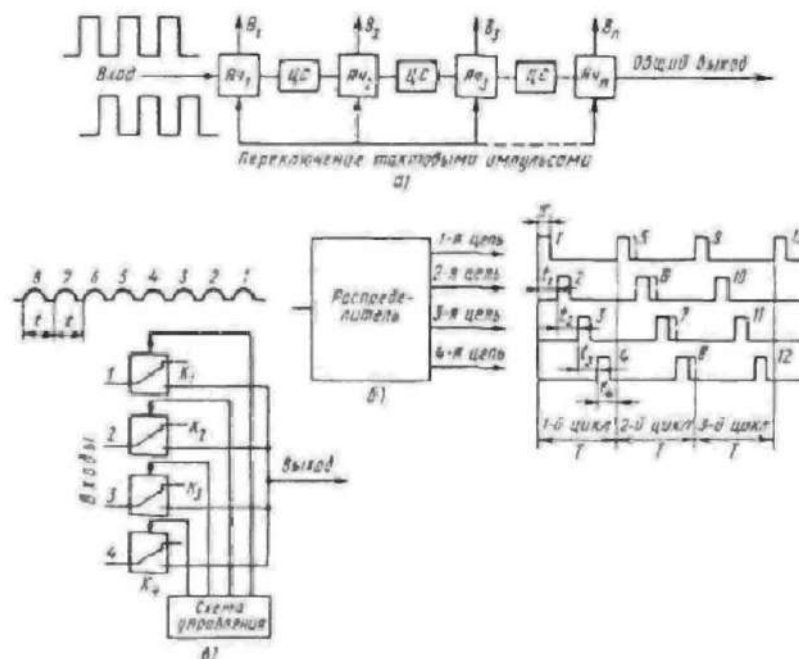


Рисунок 4.12 – Регістр, розподільник та комутатор: а) структурна схема регістра та розподільника; б) схема, що пояснює принцип дії розподільника; в) схема комутатора

Принцип дії розподільника ілюструється рис. 4.12, б. Розподільник розподіляє подану на його вхід послідовність імпульсів по чотирьох колах, хоча число кіл може бути будь-яким. У кожному колі утворюється своя послідовність імпульсів з частотою, в чотири рази меншою частоти імпульсів на вході. Розподіл імпульсів по ланцюгам відбувається за час, що дорівнює циклу T .

Тривалість циклу T розподіляється на інтервали $t_1 - t_n$ між ланцюгами ($T=t_1+t_2+t_3+t_4$, причому, як правило, $t_1=t_2=t_3=t_4$) та визначається частотою проходження імпульсів і кількістю ланцюгів $T = nt$, де n – кількість ланцюгів, а t – тривалість, відведена для одного ланцюга.

Між розподільником і регістром є відмінності. Перша відмінність полягає в методі запису інформації. У розподільник інформація записується тільки в перший осередок; при цьому протягом циклу записується лише одна одиниця B регістр за цикл може бути записано будь-яке число одиниць, що не перевищує число осередків регістра. Якщо цей запис проводиться тільки в перший осередок, а в наступні клітинки вона потрапляє з першої, то такі регістри називають послідовними. Існують також регістри, на осередки яких інформація може занісиватися одночасно (паралельні регістри).

Друга відмінність між розподільником і регістром полягає в методі знімання інформації. У розподільнику в даний момент часу сигнал, що дорівнює одиниці, знімається тільки з одного осередку, а протягом циклу - з усіх осередків по черзі (зауважимо, що це забезпечує знімання імпульсів з вихідних ланцюгів осередків розподільника згідно з розподільчим коду C_n^j).

Комутатором називається пристрій, призначений для вибору і під'єднання одного з багатьох входів (виходів) тільки до одного виходу (входу). Будь-який із ключів (рис. 4.12, в) 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.

Зазвичай застосовують комутатори з послідовним або по черговим опитуванням, тобто після першого входу підключається другий, потім третій і т.д. Проте, входи можуть під'єднуватися не регулярно. В телемеханіці комутатори використовують для різних цілей, зокрема в багатоканальних кодоімпульсних системах телевимірювань для по чергового під'єднання вимірюваних величин до аналого-цифрового перетворювача.

4. Мікропроцесорні контролери.

В найпростішому випадку, згідно принципів фон Неймана, будь-яка система обробки інформації повинна мати наступні пристрої (рис. 4.13):

- арифметично-логічний пристрій (АЛП), який виконує арифметичні і логічні операції;
- керуючий пристрій (КП), який організує процес виконання програм;
- запам'ятовуючий пристрій (ЗП), або пам'ять для зберігання програм і

даних;

- зовнішні пристрої для введення-виведення інформації (ПВВ).

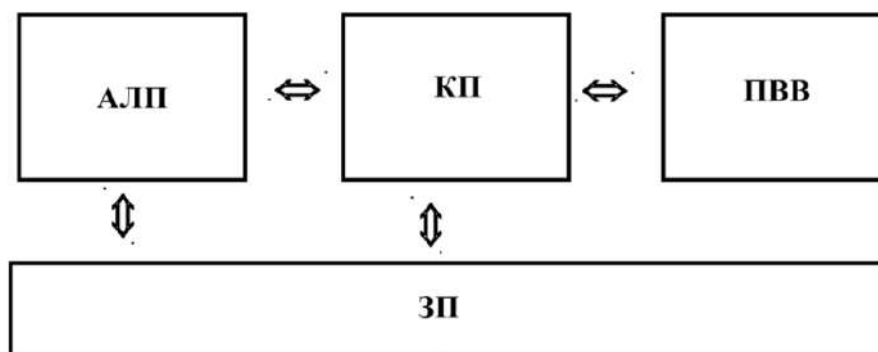


Рисунок 4.13 – Структура системи обробки інформації

Дані принципи лежать в основі будь-яких сучасних систем обробки інформації.

Мікропроцесорна система (МПС) – це функціонально і конструктивно закінчений виріб, до складу якого входить мікропроцесор. МПС призначена для отримання, аналізу, передавання та перетворення інформації.

Мікропроцесор (МП) – програмно-керований пристрій, як правило, виконаний на одній великій інтегральній схемі (ВІС), який здійснює керування процесом обробки інформації.

В сучасній техніці мікропроцесори часто об'єднують в одну систему з різноманітними додатковими пристроями: оперативними і постійними запам'ятовуючими пристроями (ОЗП і ПЗП), інтерфейсами, службовими пристроями (тактовими генераторами (ТГ), таймерами, регістрами тощо). Таке об'єднання називають мікроконтролером (МК). Мікропроцесори та мікроконтролери є основними елементами МПС.

Інтерфейс (англ. interface – засіб спряження, сполучення) є сукупністю уніфікованих технічних і програмних засобів, необхідних для підключення зовнішніх пристроїв. Він забезпечує перетворення сигналів МП у сигнали, які сприймаються зовнішніми пристроями, і навпаки, підсилення сигналів та являє собою апаратні засоби і набір програм передачі даних (уніфікований протокол обміну інформацією).

В даний час існує величезна кількість типів мікроконтролерів, які відрізняються архітектурою процесорного модуля, розміром і типом вбудованої пам'яті, набором периферійних пристроїв, типом корпусу тощо.

У мікропроцесорній техніці часто використовують термін контроллер (від англ. controller – керуючий пристрій). Він має різне значення залежно від характеру застосування. Найчастіше його використовують як назву пристроїв управління периферійними пристроями мікропроцесорних систем (контролер клавіатури, контролер переривань тощо).

Архітектурою процесора називається комплекс його апаратних і програмних засобів, що надаються користувачеві, а саме: набір доступних програмних регістрів і виконавчих (операційних) пристроїв, система команд і

способів адресації, об'єм і структура пам'яті, види і способи обробки переривань.

Регістр процесора – блок комірок пам'яті, який утворює надшвидку оперативну пам'ять всередині процесора; використовується самим процесором і здебільшого недоступний програмісту: наприклад, при виборці з пам'яті чергової команди вона поміщається в регістр команд, до якого програміст звернутися не може.

Результат роботи процесора можна представити як зміну стану регістрів, яка відбувається внаслідок виконання операторів програми або оброблення сигналів від зовнішніх пристроїв. Зміна стану регістрів приводить до зміни стану всієї системи. Зміна стану регістрів веде до зміни електричного потенціалу на пов'язаних із ними зовнішніх виводах мікроконтролера. Це дає змогу керувати зовнішніми пристроями (вмикати, вимикати, змінювати режими їх роботи).

Реальні системи на основі мікропроцесорів та мікроконтролерів мають більш складну архітектуру і, як наслідок, дещо інший алгоритм роботи.

Навіть мікроконтролери з однаковою архітектурою можуть відрізнятися набором функціональних вузлів і характером зв'язку між ними.

Однак будь-який мікроконтролер містить такі функціональні блоки:

- центральний процесор або процесорне ядро, яке складається з керуючого пристрою (КП) і операційних пристроїв (ОП);
- внутрішня пам'ять (РП, кеш-пам'ять, блоки ОЗП і ПЗП);
- інтерфейсний блок, який забезпечує вихід на системну шину та обмін даними із зовнішніми пристроями через паралельні або послідовні порти введення / виведення;
- периферійні пристрої (таймерні модулі, аналого-цифрові перетворювачі, спеціалізовані контролери);
- різні допоміжні схеми (генератори тактових імпульсів, схеми налагодження і тестування, сторожовий таймер тощо).

Зв'язок між складовими частинами мікропроцесорної системи здійснюється за допомогою внутрішньої контрольної магістралі (ВКМ), яка складається із шини даних (ШД), шини адреси (ША) та шини керування (ШК). Синхронізація роботи складових частин мікропроцесорної системи здійснюється за допомогою тактового генератора (ТГ) та спеціальної схеми синхронізації.

Класифікація мікроконтролерів

Мікроконтролери можна класифікувати за різними ознаками. За розрядністю шини даних мікроконтролери можна поділити на наступні класи:

- 1-бітні (MC14500 фірми Motorola);
- 4-бітні (Atmel MARC4, Winbond W742, NEC uPD75 тощо);
- 8-бітні (Intel MCS-48, Intel MCS-51, Atmel ATtiny/ATmega/ATXmega, Microchip PIC12/16/18, Zilog Z86 тощо);
- 16-бітні (Intel MCS-96, Texas Instruments MSP430, Motorola 68HC16, Fujitsu MB90, Infineon C16, Mitsubishi M16C, Microchip PIC24 тощо);

- 32-бітні (Atmel ARM, Fujitsu MB91, NEC V850, NXP LPC2xxx тощо).

Можливо з часом з'являться мікроконтролери з більшою розрядністю шини даних, адже існують 64-бітні мікропроцесори.

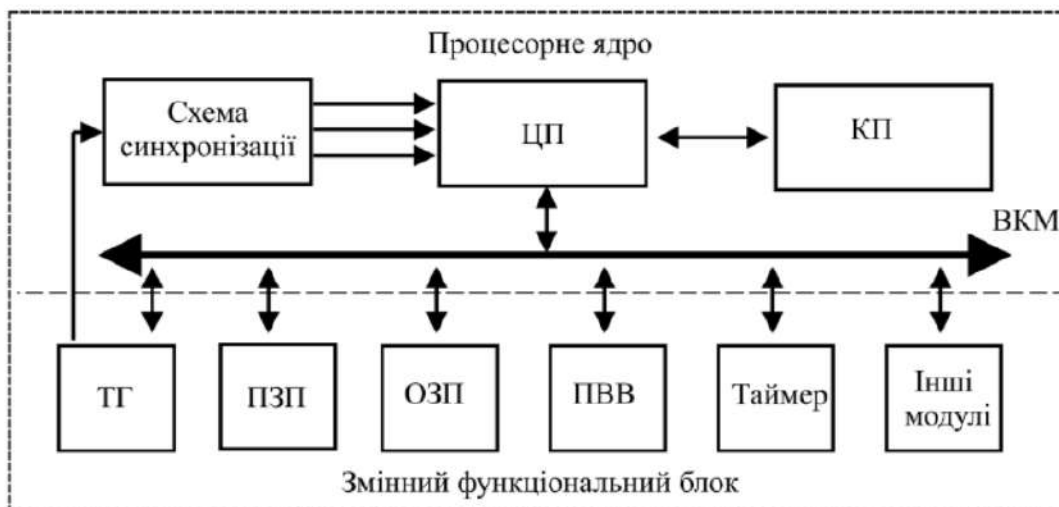


Рисунок 4.14 – Структурна схема сучасного мікроконтролера

За функціональним призначенням мікроконтролери можна поділити на мікроконтролери загального призначення і спеціалізовані.

Мікропроцесори загального призначення призначені для вирішення широкого кола завдань обробки різноманітної інформації. Їх основною областю використання є персональні комп'ютери, робочі станції, сервери та інші цифрові системи масового застосування.

Спеціалізовані мікропроцесори орієнтовані на вирішення специфічних завдань управління різними об'єктами. Містять додаткові мікросхеми (інтерфейси), що забезпечують спеціалізоване використання. Мають особливу конструкцію, підвищену надійність.

Мікроконтролери є спеціалізованими мікропроцесорами, які орієнтовані на реалізацію пристроїв керування, вбудованих у різноманітну апаратуру. Характерною особливістю структури мікроконтролерів є розміщення на одному кристалі з центральним процесором внутрішньої пам'яті і великого набору периферійних пристроїв.

Спеціалізовані, в свою чергу, можна поділити на мікроконтролери цифрової обробки сигналів (з плаваючою точкою та з фіксованою точкою), мікроконтролери для керування двигунами та інші (рис. 4.15).

За типом архітектури мікроконтролери можна поділити на CISC (Complex Instruction Set Computing) та RISC (Reduced Instruction Set Computing) архітектури.

Особливості CISC-архітектури полягають в тому, що команди виконуються по черзі (одна за одною) і мають різну довжину і структуру. Вибірка команди з пам'яті здійснюється побайтово, а сама команда виконується за кілька тактів. Ця архітектура реалізована в багатьох типах мікропроцесорів, що виконують великий набір різноформатних команд з використанням численних способів адресації.

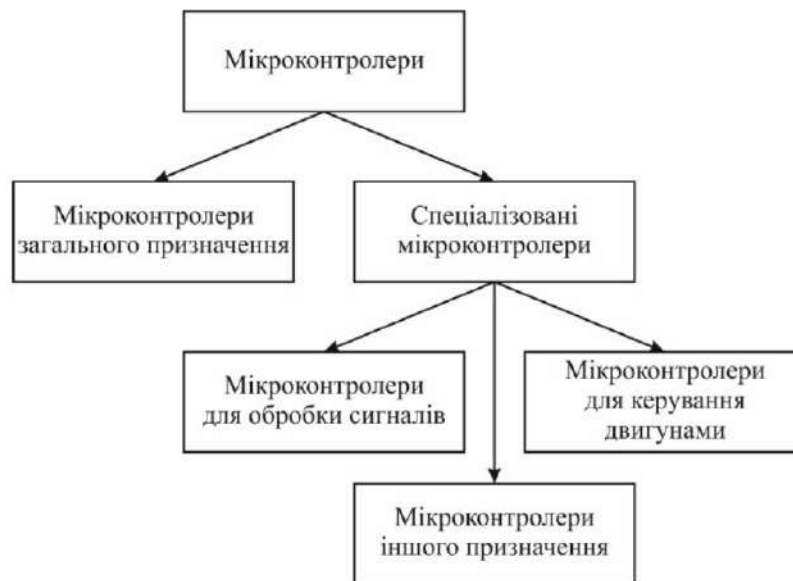


Рисунок 4.15 – Класифікація мікроконтролерів за призначенням

Основна ідея RISC архітектури полягає в заміні складних команд однотипними простими і виконанні їх єдиним потоком на паралельному конвеєрі. Всі команди мають фіксовану довжину і в ідеалі мають виконуватися за один, а не за кілька тактів, чим досягається підвищення швидкодії. Архітектура відрізняється використанням обмеженого набору команд фіксованого формату. Саме ця архітектура вважається більш перспективною і натеper є більш поширеною.

Крім цього, використовують мікропроцесори типу VLIW з надвеликим командним словом та мікропроцесори типу MISC з мінімальним набором системи команд і вельми високою швидкодією та ін. VLIW (Very Large Instruction Word) – архітектура відрізняється використанням дуже довгих команд (до 128 біт і більше), окремі поля яких містять коди, що забезпечують виконання різних операцій.

За характером роботи з пам'яттю мікроконтролери можна поділити на два типи: принстонський тип та гарвардський тип. Вони відрізняються варіантами реалізації пам'яті, який використовується, і організацією вибірки команд і даних.

Принстонський тип був розроблений Джоном фон Нейманом. У ньому використовується спільна пам'ять для зберігання програм і даних. Основна перевага полягає у спрощенні схемотехніки центрального процесора (ЦП) та в гнучкості розподілу ресурсів між областями пам'яті.

Особливістю гарвардського типу є наявність розділених адресних просторів для зберігання команд і даних. Цей тип майже не використовувався до кінця 1970-х років, поки розробники МК не зрозуміли, що саме він дає їм певні переваги. Зокрема, аналіз реальних програм показує, що об'єм пам'яті даних МК, використовуваний для зберігання проміжних результатів, приблизно на порядок менший за необхідний об'єм пам'яті програм. Значить, можна скоротити розрядність шини даних, зменшити число транзисторів в мікросхемі,

а заодно і прискорити доступ до інформації. Як наслідок, зараз більшість сучасних МК використовують RISC-архітектуру гарвардського типу.

Робота процесора полягає і в послідовному виконанні команд з оперативної пам'яті, і в швидкості виконання команд. Чим швидше процесор виконує команди, тим вища продуктивність комп'ютера в цілому. Швидкість роботи процесора залежить від декількох параметрів.

Швидкодія процесора. Вимірюється в мегагерцах (МГц); 1 МГц дорівнює мільйону тактів в секунду. Чим вище швидкодія, тим швидший процесор. Тактова частота визначає максимальний час виконання перемикання між елементами ЕОМ.

Розрядність процесора визначає максимальну кількість двійкових розрядів, які можуть бути оброблені одночасно. У процесор входить три важливих пристрої, основною характеристикою яких є розрядність:

- шина вводу і виводу даних;
- внутрішні регістри;
- шина адреси пам'яті.

Коли говорять про шину процесора, найчастіше мають на увазі **шину даних**, представлену як набір з'єднань (або виводів) для передачі або прийому даних. Чим більше сигналів одночасно надходить на шину, тим більше даних передається по ній за певний інтервал часу і тим швидше вона працює.

Дані в комп'ютері передаються у вигляді цифр через однакові проміжки часу. Для передачі одиничного біта даних в певний часовий інтервал посилається сигнал напруги високого рівня (близько 5 В), а для передачі нульового біта даних – сигнал напруги низького рівня (близько 0 В).

Шина адреси являє собою набір провідників, по яким передається адреса комірки пам'яті, в яку або з якої пересилаються дані. Як і в шині даних, по кожному провіднику передається один біт адреси, відповідний одній цифрі в адресі. Збільшення кількості провідників (розрядів), які використовуються для формування адреси, дозволяє збільшити кількість адресованих осередків. Розрядність шини адреси визначає максимальний обсяг пам'яті, що адресується процесором.

Шини даних і адреси незалежні, і розробники мікросхем вибирають їх розрядність на свій розсуд, але, чим більше розрядів в шині даних, тим більше їх і в шині адреси. Розрядність цих шин є показником можливостей процесора: кількість розрядів в шині даних визначає здатність процесора обмінюватися інформацією, а розрядність шини адреси – об'єм пам'яті, з яким він може працювати.

Кількість бітів даних, які може обробити процесор за один прийом, характеризується розрядністю внутрішніх регістрів. Регістр – це елемент пам'яті всередині процесора; наприклад, процесор може додавати числа, записані в двох різних регістрах, а результат зберігати в третьому регістрі. Розрядність регістра визначає кількість розрядів оброблюваних процесором

даних, а також характеристики програмного забезпечення і команд, які виконуються чіпом.

5.Перетворювачі інформації(АЦП, ЦАП)

В більшості систем керування інформація від датчиків поступає в аналоговій формі. Для її обробки застосовують цифрові обчислюючі пристрої. Аналогово-цифрові перетворювачі виконують перетворення вхідної напруги або струму в двійковий або в двійково-десятковий код паралельного або послідовного виду.

Заміна безперервної величини, що вимірюється, низкою її миттєвих значень через певні проміжки часу Δt називається *квантуванням за часом*. Інтервал Δt називається *кроком квантування*, а частота перетворення $f=1/\Delta t$ – *частотою квантування*. При цьому крок квантування поділяється на дві частини: в першій – аналогова величина перетворюється в цифрову, в другій – записується в регістр та зчитується з регістру, де проходить обробка інформації про вхідну величину, результат якої – дія на об'єкт керування.

Найбільш поширеними способами аналогово-цифрового перетворення є:

а) з *інтегруванням*:

Робочий цикл має три періоди:

- корекція нуля – SA2 замикається на корпус – утворюється петля зворотного зв'язку і інформація про похибку запам'ятовується на C2;
- інтегрування вхідного сигналу та одночасний відлік деякого постійного числа тактових імпульсів. В кінці періоду на інтеграторі DA1 виникає напруга, що пропорційна значенню вхідного сигналу;
- інтегрування опорної напруги - на вході DA1 замість вхідного сигналу подається опорна напруга протилежної полярності. Вихідна напруга інтегратора починає падати і одночасно проводиться облік тактових імпульсів. Зміна напруги проходить до рівня порівняння компаратора DA2.

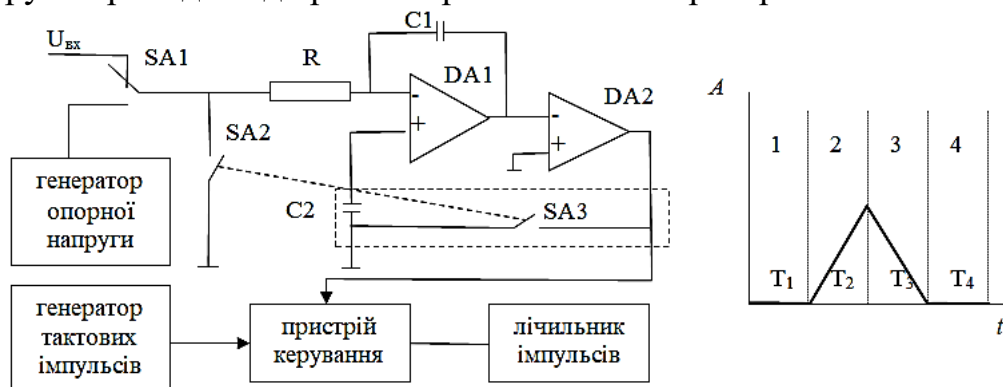


Рисунок 4.16 – АЦП з інтегруванням

Якщо T_2 тривалість першого інтервалу інтегрування, а T_3 – тривалість другого інтервалу інтегрування, що вимірюються шляхом обліку тактових імпульсів, то цифрові значення вхідного сигналу складуть:

$$U_{ex} = \frac{T_3}{T_2} U_{on}$$

б) *аналогово-цифрові перетворювачі з послідовним порівнянням* (з порозрядним урівноваженням)

Цей перетворювач містить регістр послідовного порівняння, цифро-аналоговий перетворювач і компаратор DA , що порівнює вхідну напругу з аналоговою напругою на вході цифро-аналогового перетворювача. Якщо вхідна напруга від датчика менше вхідної напруги цифро-аналогового перетворювача, логічна „1” розряду, що обробляється, зберігається. Якщо вхідна напруга більше вхідної напруги цифро-аналогового перетворювача, то в поточному розряді встановлюється логічний „0”. Обробка наступних розрядів в регістрі проходить аналогічно. Вихідний цифровий код після оброблення всіх розрядів знімається з вихідного регістру.

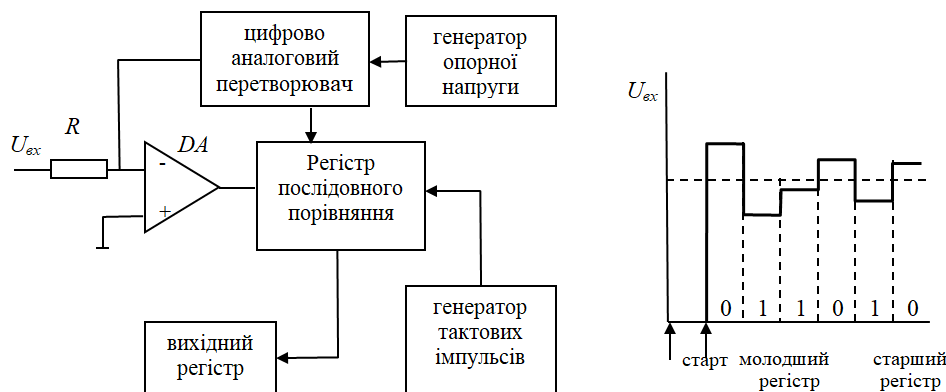


Рисунок 4.17 – АЦП з послідовним порівнянням

в) *аналого-цифровий перетворювач паралельного типу*

Вхідний аналоговий сигнал U_{ex} перед початком перетворення запам'ятовується схемою вибірки-зберігання. Конденсатор C ключем S під'єднується до вхідного сигналу в період вибірки та вимикається при зберіганні. Завдяки майже миттєвому часовому квантуванню (виборці) вхідного сигналу досягається швидкодія аналогово-цифрового перетворювача. Аналогова величина на виході схеми вибірки-зберігання U_0 порівнюється компараторами з сигналами від еталонних резисторних подільників. Спрацьовує молодший компаратор, сигнал подається на дешифратор DC і перетворюється в двійковий вихідний код.

Застосування того чи іншого типу аналогово-цифрового перетворювача обумовлене поставленою задачею.

Цифро-аналоговий перетворювач служить для перетворення коду в пропорційний йому аналоговий сигнал напруги або струму з метою відображення на показуючих приладах або для узгодження з аналоговими елементами систем автоматики.

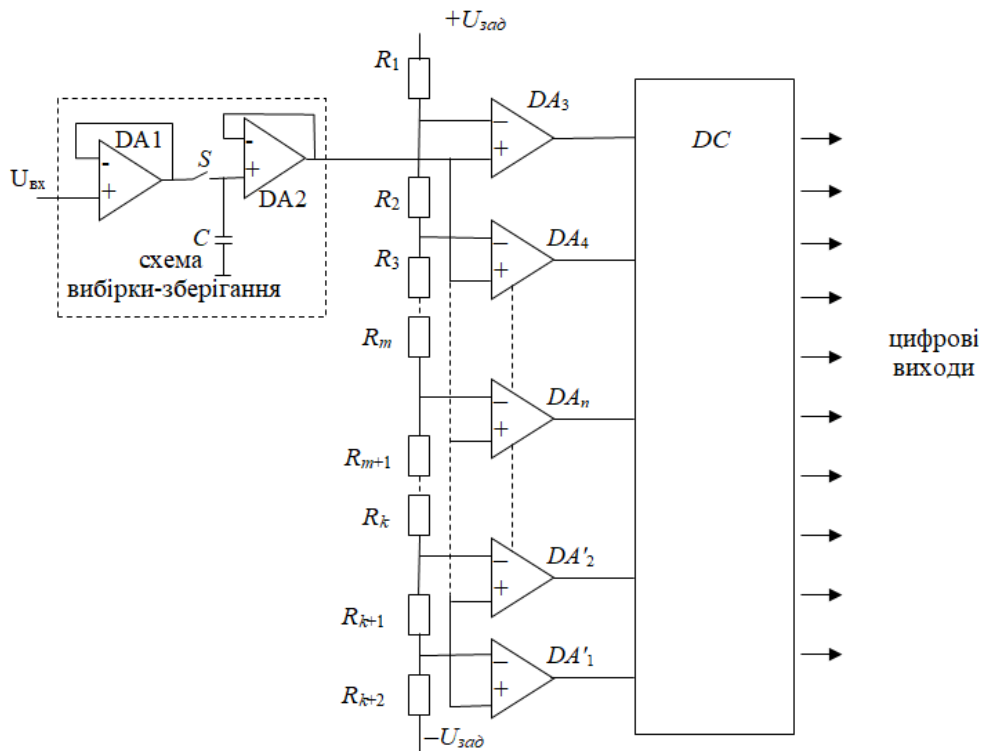


Рисунок 4.18 – АЦП паралельного типу

Принцип роботи цифро-аналогового перетворювача полягає в підсумуванні аналогових сигналів, що пропорційні ваговим розрядам вхідного цифрового коду:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{етал}} \left(a_1 2^{-1} + a_2 2^{-2} + \dots + a_n 2^{-n} \right)$$

де $a_1 \dots a_n$ – коефіцієнти двійкових розрядів.

$K_1 \dots K_n$ – ключі, що пов'язують вагові резистори з інверторним входом операційного підсилювача DA .

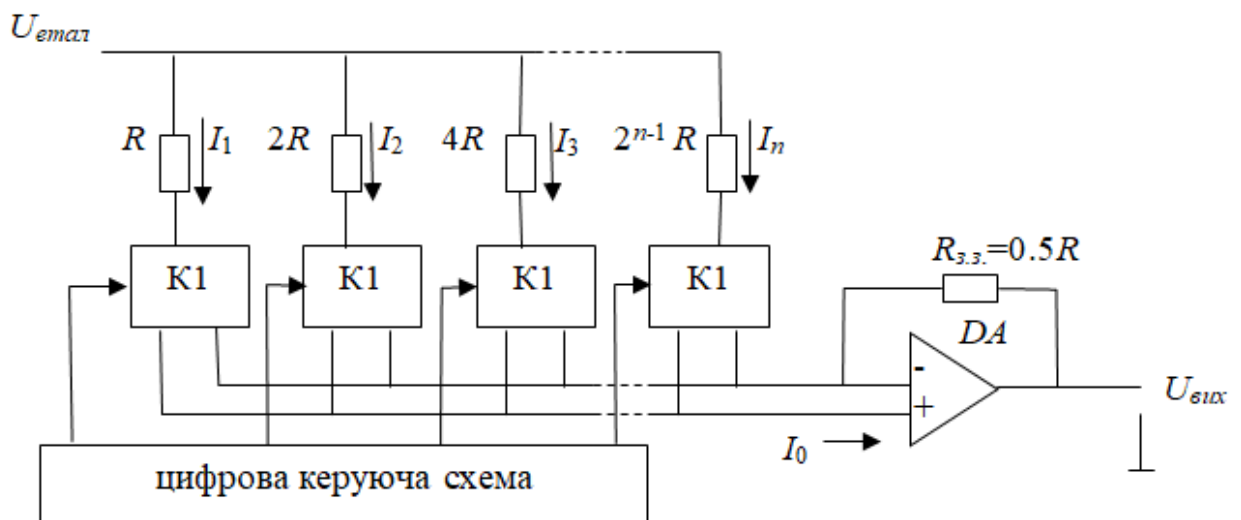


Рисунок 4.19 – Схема ЦАП

Тема 5. Передавання сигналів у телемеханічних системах

1. Передавання сигналів у телемеханічних системах
2. Модеми каналів телемеханіки.
3. Ефективність передавання кодових форматів.
4. Приєднання до дротів ЛЕП. Схема "провід-провід" розщепленої фази.
5. Високочастотні тракти по грозозахисних тросах.
6. Вибір частот для каналів ВЧ зв'язку.

1. Передавання сигналів у телемеханічних системах

Функції передавання повідомлень повинні забезпечувати:

- високу достовірність доставки повідомлень по каналах зв'язку в умовах високого рівня завад, викликаних електромагнітним впливом ЛЕП, комутаційними явищами у силових колах тощо;
- малу тривалість телепередавання для забезпечення режиму реального часу при контролі технологічних процесів та керування ними;
- високу ефективність використання каналу зв'язку за обмеженої частотної смуги пропускання каналу.

Для виконання цих вимог на кожному рівні передавання повідомлень вирішують певне коло питань.

На транспортному рівні:

- розділення повідомлень на блоки, введення короткоформатних блоків для передавання екстрених повідомлень;
- введення пріоритетів передавання, розділення переданих даних по класах обслуговування;
- забезпечення резервного шляху доставки повідомлення при пошкодженні основного каналу.

На каналному рівні:

- перетворення вхідних сигналів від датчиків у послідовність дискретних сигналів, кодування вихідних сигналів за визначеним законом з метою забезпечення необхідного захисту від завад;
- декодування сигналів, прийнятих з каналу зв'язку, контроль вірності прийому, виявлення помилок;
- узгодження смуги частот та рівнів сигналів ТМ і каналу зв'язку за допомогою модему, формування сигналу передавання та прийому, контроль якості сигналу і синхронізація приймача та передавача ТМ.

Функції фізичного рівня визначаються середовищем, яке слугує для передавання сигналів між передавачем і приймачем.

Для передачі телемеханічної інформації застосовують лінії провідного зв'язку, лінії електропостачання та радіотракт (радіорелейні лінії, радіопередавачі, радіоприймачі, мікрохвильовий та стільниковий зв'язок), оптичний зв'язок.

Найбільш поширені провідні лінії зв'язку. Якщо вони використовуються лише для передачі ТМ-інформації, то називаються фізичними провідниками лініями зв'язку. Цю пару проводів (повітряну або екрановану) можна

використовувати для передачі багатьох повідомлень методами тимчасового або часткового поділу сигналів (ущільнення лінії зв'язку). Фізичний ланцюг або самостійна двопровідна лінія зв'язку – найкращий варіант для організації каналів зв'язку, якими можна передавати телемеханічні повідомлення. Однак він дорогий, і прокладання самостійної (повітряної або кабельної) лінії зв'язку на великі відстані виробляють у виняткових випадках.

Як правило, прокладеними проводами передається інформація зв'язку (телеграфні та фототелеграфні повідомлення, телефонний зв'язок, передача даних, звукове мовлення і т.д.), а для цілей ТМ призначається телеграфний або телефонний канал, тобто виділяється певна смуга частот.

При невеликих швидкостях передачі сигналів ТМ (50-75 Бод) застосовують телеграфні канали (зазвичай канали тонального телеграфування), а за швидкостях до 4800 Бод потрібен телефонний канал. При вищих швидкостях передачі використовують телевізійні канали.

ТМ інформацію можна передавати у різних діапазонах частот: тональному (300-3400 Гц), надтональному (3400-5300 Гц), високочастотному (понад 5300 Гц), інколи ж і в підтональному (40-300 Гц).

Передача одного або двох телемеханічних повідомлень можна здійснювати зайнятим телефонним каналом, не перериваючи розмови, тобто без виділення спеціальної смуги частот (спрощене ущільнення).

Лінії повинні бути надійними, стійкими до перешкод і безвідмовними.

Основні види каналів зв'язку (КЗ), що використовують в енергетиці для систем телемеханіки:

- провідні лінії зв'язку (ПЛЗ) (ВЧ канали по високовольтних ЛЕП (35 кВ та вище) і канали тональної частоти по силових розподільчих мережах 10 кВ і нижче;

- власні підземні або підвісні кабелі зв'язку та дротяні повітряні лінії зв'язку;

- орендовані телефонні/телеграфні лінії і канали зв'язку;

- радіоканали (на коротких хвилях (КХ) і УКХ);

- оптоволоконні лінії тощо.

Повітряні лінії зв'язку

Повітряні лінії зв'язку складаються з металевих дротів, підвішених за допомогою ізоляторів та спеціальної арматури на стовпах. Залежно від умов, у яких знаходяться підвішені дроти (ожеледиця, вітер тощо), розрізняють повітряні лінії зв'язку 4-х типів:

слабкого,

нормального,

посиленого,

особливо посиленого.

Як дроти (лінійного дроту) застосовують дроти:

Сталевий D 5; 4; 3; 2.5; 2; 1.5 мм;

Мідний D 4; 3.5; 3 мм;

Біметалічний сталемідний (покриття міді 0,2 мм) D 4; 3; 2; 1.6 мм.

Біметалічний сталевалюмінієвий D 2.6-6.5мм.

Сталева повітряна лінія $f_{\max}$ до 30 Гц. Мідна повітряна лінія $f_{\max}$ до 180 Гц.

Недоліки: схильність до зовнішніх перешкод, мала надійність, великий витік при погіршенні атмосферних умов (гроза, дощі, ожеледиця), великі витрати матеріалів при спорудженні та необхідність постійного профілактичного обслуговування. При зниженні t° на 80°C $R_{\text{акт}}$ змінюється в 1,5 рази.

Кабельні лінії зв'язку

Кабель складається із ізольованих паралельних провідників, ув'язнених у загальну вологозахисну оболонку і іноді в броньові покриття. Розрізняють підземні, підводні та повітряні кабелі, симетричні та коаксіальні

Первинні параметри провідних ліній зв'язку

Первинними параметрами провідних ліній зв'язку є активний опір R (Ом/км), індуктивність L (Гн/км), ємність C (Ф/км), провідність ізоляції G (1/Ом км).

Активний опір $R=R_0+R_{n.e.}+R_{\delta}+R_m$,

де R_0 - Опір постійного струму;

$R_{n.e.}$ – опір поверхневого ефекту;

R_{δ} - опір ефекту близькості;

R_m – опір втрат у металі (у сусідніх кабельних ланцюгах та свинцевій оболонці).

Для кабелю враховують усі 4 складові, для повітряних ліній – лише перші два, оскільки R_{δ} і R_m малі. R_0 залежить від D дроту матеріалу, температури та способу скручування жил.

Під час передавання по ПЛЗ сигналу змінного струму активний опір зростає із збільшенням частоти через «поверхневий ефект» (проходження змінного струму в поверхневому шарі провідника, цей шар тим тонший, чим вища частота).

R_{δ} - ефект близькості, так само як і поверхневий ефект, виникає за рахунок взаємного впливу поруч розташованих струмонесучих проводів, так як магнітне поле кожного з двох проводів створює вихрові струми в сусідньому проводі. Взаємодія вихрових струмів з основним струмом призводить до збільшення густини струму на звернених один до одного поверхнях проводів.

R_{δ} збільшується при зменшенні відстані між проводами.

R_m виникає через те, що вихрові струми, створювані зовнішнім магнітним полем ланцюга, нагріває навколишні металеві частини.

Індуктивність L залежить від відстані між проводами D (зменшується із збільшенням D), від матеріалу (у сталі L більше, ніж у міді) та f .

C залежить від відстані між проводами (збільшується із зменшенням відстані) D та матеріалу діелектрика між проводами ланцюга.

Опір ізоляції за сухої погоди – 30 МОм/км й більше, а в дощ і туман знижується до 2 - 4 МОм /км.

Індуктивність двопровідної ПЛЗ із мідними дротами за відстані між дротами у 200 мм становить близько $2 \cdot 10^{-3}$ Гн/км, для сталевих дротів – $14 \cdot 10^{-3}$ Гн/км.

$$LC = \mu\epsilon,$$

де μ і ϵ - магнітна та діелектрична проникність.

Для повітряної лінії $LC=1$ для кабелю $LC=\epsilon$.

Провідність ізоляції (витік) залежить від типу ізоляції, частоти струму (зростає зі збільшенням f) та кліматичних умов. Для повітряних ланцюгів на витік впливають також ожеледиця та іній.

Розрізняють однорідні та неоднорідні лінії.

Вторинні параметри провідних ліній - хвильовий опір Z_x та постійна передачі γ .

Опір, яким можна замінити відрізану частину нескінченно довгої лінії так, що при цьому в будь-яких точках лінії значення струму і напруги, що залишилися, будуть колишніми, називають хвильовим або характеристичним опором.

$$Z_x = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

При частотах більше 10 кГц R і G дуже малі в порівнянні з ωL і ωC , тому можна вважати, що $Z_x = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Для мідних повітряних ліній зв'язку $Z_x=600-900$ Ом.

Опір, виміряний на початку лінії, називається вхідним опором

$$Z_{Bx} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}},$$

де $U_{\text{вх}}$ і $I_{\text{вх}}$ - напруга та струм на вході лінії.

Вхідний опір лінії залежить від хвильового опору лінії, загасання лінії та величини навантаження в кінці лінії.

Вхідний опір збігається з хвильовим опором лише тоді, коли опір навантаження $Z_H=Z_x$. Тільки в цьому випадку буде найкраща передача електромагнітної енергії, тобто буде найбільший ККД передачі, оскільки не буде відбитої хвилі.

Канали зв'язку у виділеній смузі частот провідної лінії зв'язку

При передачі невеликої кількості ТМ повідомлень на великі відстані іноді виявляються економічно недоцільною прокладка окремої лінії, тобто здійснення передачі фізичними лініями зв'язку.

Вартість таких ліній зв'язку може значно перевищувати вартість самої системи ТМ. У цьому випадку доцільно використовувати вже прокладені лінії для передачі повідомлень зв'язку: телеграф, телефони та ін. первинне ущільнення), кожен з яких у свою чергу може ділитися на телеграфні канали із шириною смуги частот, як правило, до 140 Гц (вторинне ущільнення)

Δt телеграфного каналу достатня передачі звичайного ТМ повідомлення, тим паче що для телеграфних каналів існує добре налагоджена апаратура

передачі телеграм та інших повідомлень зв'язку. Тому в цьому випадку відбувається проста заміна повідомлень. Телеграфний зв'язок - низькошвидкісна передача даних та команд для різних рахункових та керуючих машин.

Симплексний почерговий двосторонній зв'язок між 2 пунктами по одному каналу, при якому в кожному з них передача та прийом повідомлень ведуться по черзі.

Дуплексний одночасний двосторонній зв'язок по одній лінії зв'язку. Двостороння передача ТМ-повідомлень, коли передачі лінією ведуться одночасно.

Телеграфування змінним струмом називається частотним телеграфуванням.

Частотне телеграфування є більш досконалим, оскільки забезпечує передачу більшої кількості повідомлень і більшу відстань, ніж постійним струмом.

Телефонний зв'язок використовується для двосторонньої передачі промови на відстань у тональному діапазоні (300-3400 Гц), який вже нормального звукового діапазону (30-16000 Гц)

Канали зв'язку в зоні тонального телеграфування

Для передачі ТМ повідомлень у цьому діапазоні (0,3-3,4 Гц) використовують телеграфні канали, що організуються різною серійно випускається каналоутворюючою апаратурою. У кожному телеграфному каналі замість телеграфних посилок можна надсилати ТМ повідомлення.

Вже зараз стільниковий зв'язок можна як один із варіантів обміну інформацією в розподілених системах АСУТП. У ряді випадків GSM-радіотелемеханіка економічно ефективніша. При цьому GSM має деякі переваги: якість зв'язку, охоплена територія, доступність, менша ціна обладнання, простота обслуговування та експлуатації, скорочення початкових вкладень, мобільність.

Для ТМ використовують ПЛЗ для телефонних переговорів (300-2600 Гц – телефонна передача, $f < 300$ Гц – підтональні частоти, 3200-8500 Гц – надтональні частоти).

Коли в одному напрямку необхідно втілити групу КЗ, прагнуть ущільнити лінію зв'язку тобто використовувати одну лінію для одночасної передачі багатьох сигналів. Ущільнення дротових ліній здійснюють за принципом частотного поділу каналів або за принципом поділу каналів у часі.

Найбільш простим способом щільного використання двопровідної ПЛЗ є схема з поділом каналів на передачу сигналів постійним і змінним струмом (рис.5.1).

Індуктивні котушки більшу частину змінного сигналу не пропускають до кола постійного струму, а розділові конденсатори С1 і С2 закривають шлях сигналам постійного струму. Таким чином утворюють два незалежні одне від одного електричні кола для передачі сигналів постійного і змінного струму по одній ПЛЗ.

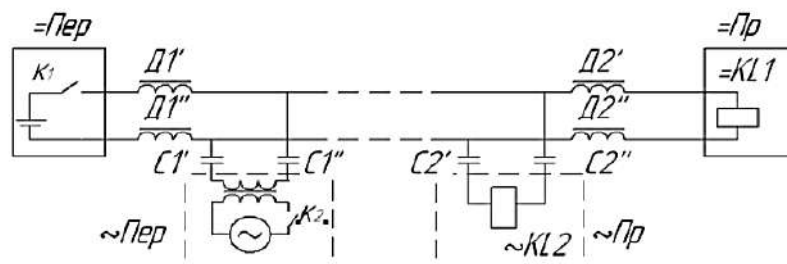


Рисунок 5.1 – Схема з поділом каналів на передачу сигналів постійним і змінним струмом

Штучні кола за схемою врівноваженого моста (рис. 5.2).

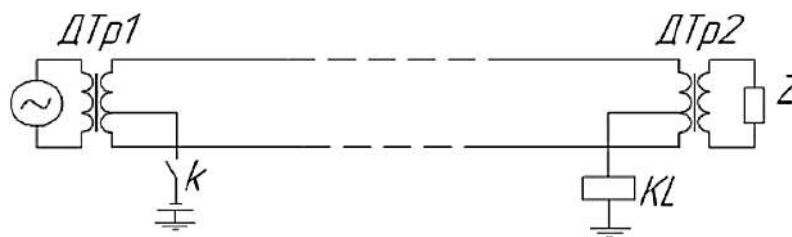


Рисунок 5.2 – Штучні кола за схемою врівноваженого моста

На кінцях лінії включено диференціальні трансформатори. Якщо міст, утворений половинами обмоток трансформаторів і лінійними проводами, є врівноваженим, то змінний струм не протікає по колу постійного струму, а імпульси струму, що виникають при замиканні кола постійного струму не індукують ЕРС в колі змінного струму. Застосування методів утворення штучних кіл дозволяє збільшити число каналів зв'язку удвічі.

За частотного ущільнення лінії зв'язку рис. 6.2.3 приймають змінні струми різних частот f_1 , f_2 , f_3 , f_4 , а канали поділяють за допомогою електричних фільтрів.

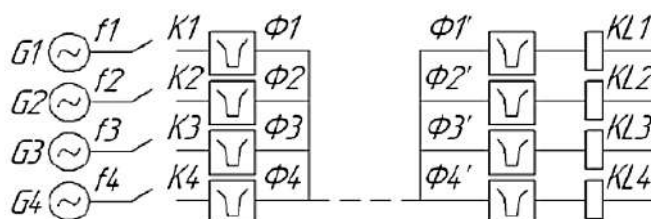


Рисунок 5.3 – Схема поділу каналів за допомогою електричних фільтрів

Смугові фільтри $\Phi 1 \dots \Phi 4$ – на стороні, що передає; $\Phi 1' \dots \Phi 4'$ – на приймальній стороні. Генератори $G1 \dots G4$ виробляють сигнали так, щоб кожен не створював істотного загасання для частоти свого каналу, але практично не пропускав частоти інших каналів.

Основною перевагою радіозв'язку є висока надійність, обумовлена незалежністю від будь-яких провідникових каналів. Водночас, основним недоліком радіоканалу є низька захищеність від завад, особливо атмосферних. Цей недолік усувають шляхом розробки систем кодування радіосигналу ТМ.

По каналах радіозв'язку на УКХ (дециметрові, сантиметрові хвилі) сигнали поширюються в напрямку прямої видимості. Внаслідок кривизни рельєфу землі відстань прямої видимості невелика. За висоти передавальної й приймальної антен понад 100 м прямі радіохвилі поширюються на 20-30 км. Для збільшення дальності передавання застосовують принцип багаторазової ретрансляції за допомогою проміжних приймальних-передавальних станцій, що встановлюють через кожні 50-80 км. Загальна довжина такої радіолінії може сягати 1000 км.

Радіоканали на КХ поділяють за принципом лише частотного поділу.

Багатоканальне використання радіоліній на УКХ можливо за обома принципами – за принципом частотного поділу і за принципом часового поділу каналів.

Принцип поділу каналів за часом (рис. 5.4):

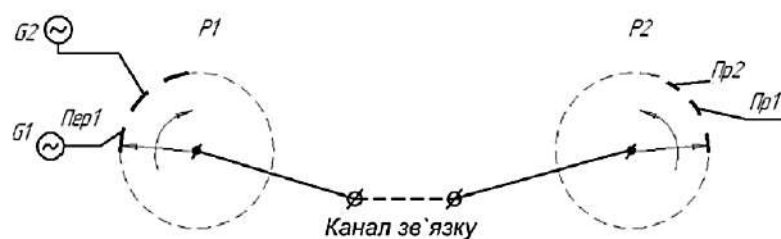


Рисунок 5.4 – Поділ каналів за часом

На передавальному і приймальному пунктах встановлюють розподільники P1 і P2, які синхронно перемикаються. До контактів P1 підключають передавачі Пер 1...n, а до контактів P2 – приймачі Пр 1...n. У кожен момент часу рухомі контакти розподільників P1 і P2 встановлюють канал зв'язку між відповідними Пер і Пр.

У пристроях багатоканального радіозв'язку тривалість циклу перемикавання вкрай мала – тисячні або десятитисячні частки секунди.

Характер сигналів за триканальної системи передавання, у разі амплітудної й імпульсної модуляції (рис.5.5).

Початок кожного циклу (рис. 5.5) відрізняють за посилюю «Синхронізуючий імпульс - М» (положення 0 – P1 і P2), яка відрізняється за амплітудою від робочих імпульсів кожного каналу. У даному випадку на Пер надходять сигнали з амплітудною імпульсною модуляцією (АІМ), тобто амплітуди імпульсів залежить від миттєвих значень каналних сигналів.

Інший вид модуляції – широтно-імпульсний (ШІМ) і фазо-імпульсний (ФІМ).

При ШІМ залежно від миттєвого значення сигналу змінюють тривалість посилки імпульсу.

При ФІМ здійснюють посилку короткочасних імпульсів, положення яких у часі (фаза) змінюють в залежності від миттєвого значення сигналу каналу.

ШІМ і ФІМ мають вищу завадозахищеність у порівнянні з АІМ.

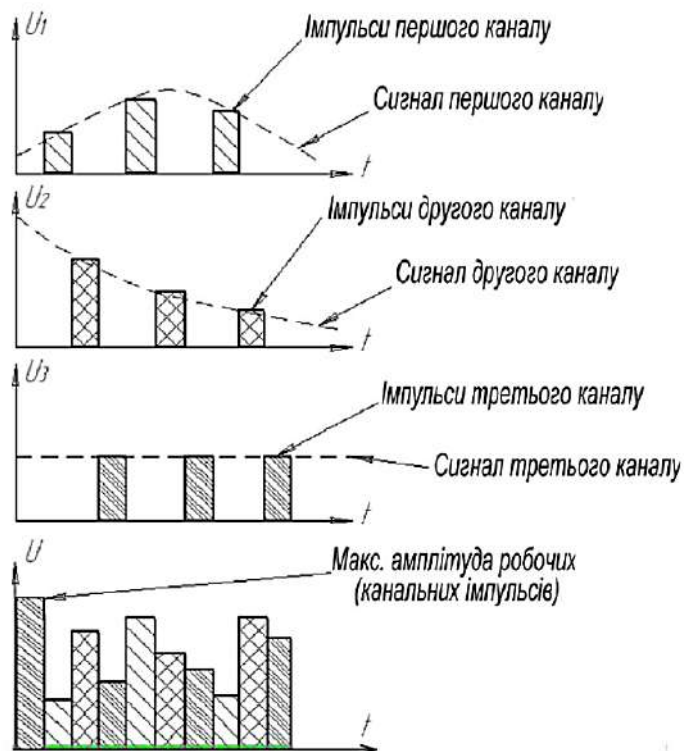


Рисунок 5.5 – Характер сигналів за триканальної системи передавання у разі амплітудної й імпульсної модуляції

2. Модеми каналів телемеханіки.

Модем (скорочення від «модулятор-демодулятор») – пристрій зв'язку для перетворення сигналу за допомогою процесів модуляції (зміна параметрів електромагнітного коливання за законом інформаційного повідомлення) та протилежного йому демодуляції; він є пристроєм узгодження у телекомунікаційних системах, системах автоматичного керування тощо.

За швидкістю передавання сигналів модеми каналів ТМ розділяють на низько-, середньо- та високошвидкісні. Низькошвидкісні модеми розраховані на передавання дискретних сигналів із швидкістю від 50 до 300 бод, середньошвидкісні - із швидкістю від 600 до 9600 бод та високошвидкісні модеми – із швидкістю понад 48000 бод.

Бод є загальною одиницею вимірювання швидкості символів, яка є одним із компонентів, що визначають швидкість зв'язку по каналу даних. Це одиниця швидкості символів або швидкості модуляції у символах в секунду або імпульсах в секунду. Це кількість різних змін символів (сигнальних подій), які здійснюються в середовищі передачі даних за секунду в цифрово модульованому сигналі або в коді лінії. Якщо в системі є точно два символи (зазвичай 0 і 1), то бод і біт в секунду (біт/с) еквівалентні.

Для роботи низькошвидкісних каналів ТМ, які найрозповсюдженіші в енергосистемах, зазвичай використовують верхню частину робочої смуги частот каналів ТЧ. З цією метою в стандартному каналі ТЧ з робочою смугою частот 0,3 - 3,4 кГц фільтрами виокремлюють смугу частот 2,5 - 3,4 кГц для

роботи кількох каналів ТМ, при цьому в нижній частині смуги здійснюють ТФ зв'язок.

Смугу частот, яка виокремлена для кількох каналів ТМ, називають груповим каналом ТМ. Для роботи середньошвидкісних каналів ТМ виокремлюють весь спектр частот стандартного каналу ТЧ.

В енергосистемах найрозповсюдженішими є канали телесигналізації (ТС) з частотною модуляцією, спрощену структурну схему яких зображено на рис. 5.6.

Модем передавання містить: генератор тональної частоти (ТГ), керування параметрами коливального контуру якого здійснюють частотним маніпулятором (ЧМ); підсилювач сигналів (ПС); вихідний смуговий фільтр ФПЕР з лінійним узгоджуючим трансформатором (ЛУТ).

Під впливом інформаційних сигналів, які поступають на вхід ЧМ, змінюється реактивний параметр (зазвичай ємність) коливального контуру ТГ, що викликає зміну частоти ТГ у відповідності з інформаційним сигналом. Лінійний узгоджуючий трансформатор призначений для узгодження модему передавання з каналом ТЧ та являє собою трансформатор, первинна обмотка якого виконана за диференційною схемою з урахуванням можливості підключення ФПЕР другого модему у разі, якщо по одному каналу ТЧ працює кілька модемів.

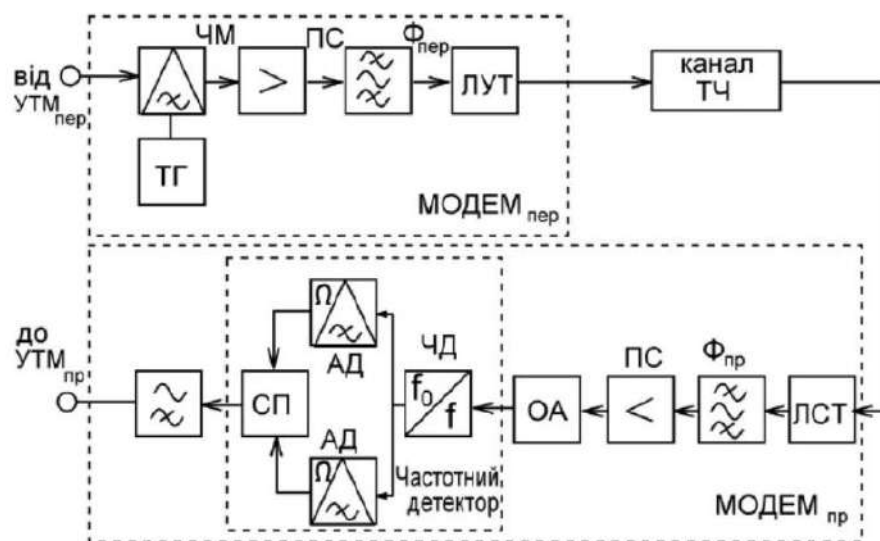


Рисунок 5.6 – Структурна схема каналів телесигналізації з частотною модуляцією

Модеми прийому містять ЛУТ (функції аналогічні ЛУТ модему прийому), вхідний смуговий фільтр ФПР, підсилювач (ПС), обмежувач амплітуди (ОА), частотний дискримінатор (ЧД), амплітудний детектор (АД), схему порівняння (СП) та вихідний фільтр низьких частот (ФНЧ).

Обмежувач амплітуд практично усуває вплив зміни рівня сигналу в каналі ТЧ на тривалість демодульованих сигналів, зменшує спотворення форми елементів сигналу та знижує вплив імпульсних завад.

Частотний дискримінатор перетворює частотно-модульований сигнал в сукупність двох амплітудно-модульованих сигналів (як правило, здійснюється за допомогою двох послідовно з'єднаних резонансних контурів). В АД амплітудно-модульовані сигнали випрямляють та подають на СП, в якості якої зазвичай використовують електронне диференційне реле. В залежності від того, який з випрямлених сигналів більший, СП видає сигнал відповідної полярності.

ФНЧ пригнічує у випрямленому сигналі вищі гармоніки та залишки несучої частоти.

Якість модемів каналів ТМ визначають за сукупністю характеристик, основними серед яких є:

- модуляційна характеристика модему передавання (залежність відхилення частоти сигналу на виході модему від напруги первинного сигналу на вході модему);
- спектр та рівень перешкоджаючих частот модему передавання;
- чутливість та характеристика обмежувача максимальних амплітуд модему прийому;
- частотна характеристика детектора модему прийому;
- стабільність характеристичних частот модему передавання.

3.Ефективність передавання кодових форматів.

Невиявлені помилки або втрати повідомлення порушують достовірність передавання даних.

Згідно стандарту МЕК є 3 класи достовірності передачі даних: $I_1 - I_3$.

Використання того чи іншого класу визначає важливість повідомлення.

На рис. 5.7 показано залежність верхніх меж вірогідності хибних повідомлень R від ймовірності помилкового прийому біт P (R і P у логарифмічному масштабі). Значення $P=0,5$ відповідає прийому випадкової завади (без сигналу).

Межові характеристики $R(P)$ (зображені пунктиром) для класів достовірності $I_1 - I_3$ задають так: горизонталь, що обмежує допустиме значення R , проводять на рівні $R=R_{\text{ПР}}$. Значення $P=10^{-4}$ відповідає задовільній якості каналу передачі. При $P=10^{-4}$ для класу I_1 $R_{\text{ПР}}=2^{-1}$, для класу I_2 $R_{\text{ПР}}=2^{-8}$, для $I_3 - R_{\text{ПР}}=10^{-12}$.

Це означає, що при будь-якій ймовірності помилки на біт значення R не повинно перевищувати заданих значень $R_{\text{ПР}}$.

Для $P=0,5$: $I_1 \rightarrow R_1=10^{-6}$; $I_2 \rightarrow R_2=10^{-10}$; $I_3 \rightarrow R_3=10^{-14}$.

Нахил граничних характеристик до осі абсцис визначають за кодовою відстанню d : для класу I_1 $d=2$, для класів I_2 та I_3 $d=4$. Це означає, що в класі I_1 повинні виявлятися всі однократні помилки, а в класах I_2 та I_3 – всі помилки кратністю не більше 3.

Оскільки за значення $P=0,5$ захисні біти з рівною можливістю можуть приймати будь-які значення, ймовірність невірної комбінації контрольних біт (тобто ймовірність пропускання невірних повідомлень)

$$R_{\text{ПР}}=0,5^k,$$

де k – кількість контрольних символів у коді.

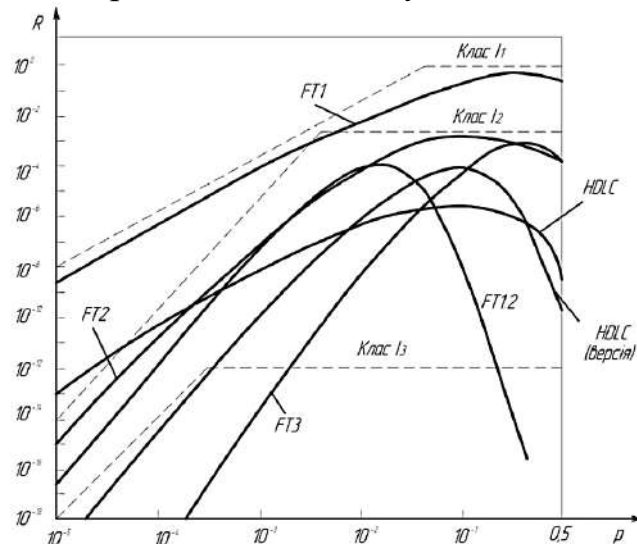


Рисунок 5.7 – Залежність верхніх меж вірогідності хибних повідомлень R від ймовірності помилкового прийому біт p

Звідси знаходимо число контрольних символів k , які забезпечують задані величини $R_{\text{ПР}}$: для двійкових логарифмів $k = -\lg R_{\text{ПР}}$. Отже,

для класу I_1 – $R_{\text{ПР}} = 2^{-1}$ забезпечує $k=1$,

для класу I_2 $R_{\text{ПР}} = 2^{-8}$ забезпечує $k=8$,

для класу I_3 $R_{\text{ПР}} = 10^{-12}$ забезпечує $k \approx 40$.

Значення часу T між можливими хибними повідомленнями:

$$T = \frac{n}{VR},$$

де n – довжина блоку повідомлень, біт;

V – швидкість передавання;

R – ймовірність хибних повідомлень.

Розрахункові значення T для різних класів достовірності наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахункові значення T для різних класів достовірності

Клас достовірності	Ймовірність хибних повідомлень R за значень $p = 10^{-4}$	Очікуваний час T між хибними повідомленнями	Основна область застосування
I_1	10^{-6}	1 день	Циклічні телевимірювання
I_2	10^{-10}	26 років	Передавання ТС, ТІ важливих параметрів
I_3	10^{-14}	260 000 років	Телеуправління, телеавтоматика

Повідомлення, які передають по каналах зв'язку, формують у кодовій конструкції (кодові формати) довжиною n біт, включаючи інформаційні n_i , контрольні k та службові біти (біти синхронізації, адресні, функціонального призначення тощо)

Вірно (без помилок) прийнятий кодовий формат гарантує правильність прийнятих повідомлень. Ефективність передавання кодового формату (EEF) визначають відношенням вірно прийнятих інформаційних біт до загальної кількості біт у форматі:

$$EEF = \frac{n_i q^n}{n},$$

де $q=(1-p)$ – ймовірність правильного прийому біту; q^n – ймовірність правильного прийому всіх n біт у форматі.

Для визначення ефективності телепередавання даних в телемеханіці потрібно враховувати службові сигнали, необхідні для ведення діалогу між передавачем та приймачем.

4. Приєднання до дротів ЛЕП. Схема "провід-провід" розщепленої фази.

Залежно від того, до яких проводів ЛЕП підключають апаратуру приєднання, створюється той або інший лінійний тракт ВЧ каналу зв'язку. Найбільше поширення мають тракти по фазних проводах, а також по ізольованих грозозахисних тросах. Кожний з перерахованих трактів має свої переваги та недоліки.

Високочастотні тракти по фазних проводах

Найбільше поширення одержала схема "фаза-земля" (рис. 5.8), у якій апаратуру включено між фазним проводом та землею. Схема є найпростішою та економічною: у кожному пункті встановлюють лише один комплект пристроїв приєднання та обробки. Кінцеві загасання не перевищують 2,5 дБ та не знижують якості передавання.

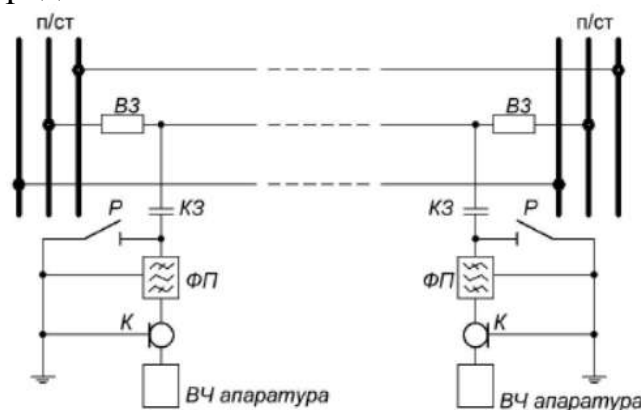


Рисунок 5.8 – Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою «фаза-земля»

Рідше (звичайно по ПЛ-500 кВ) застосовують схему "фаза-фаза"(рис. 5.9). Схема має трохи менше загасання в порівнянні зі схемою "фаза-земля", дозволяє знизити загасання лінійного тракту на ПЛ із відгалуженнями та ВЧ обходами, має більш рівномірну характеристику вхідного опору. Застосування

схеми "фаза-фаза" підвищує надійність ВЧ тракту при коротких замиканнях на ПЛ. Іноді застосовують схему "фаза-фаза" різних ПЛ. На нетранспонованих ПЛ-330 кВ із горизонтальним розташуванням проводів іноді застосовують схему "фаза-земля" з приєднанням передавача та приймача до різних фаз (рис. 5.10). На транспонованих ПЛ-750 кВ застосовують схему "фаза-середня-земля з обох кінців ПЛ" (рис. 5.11).

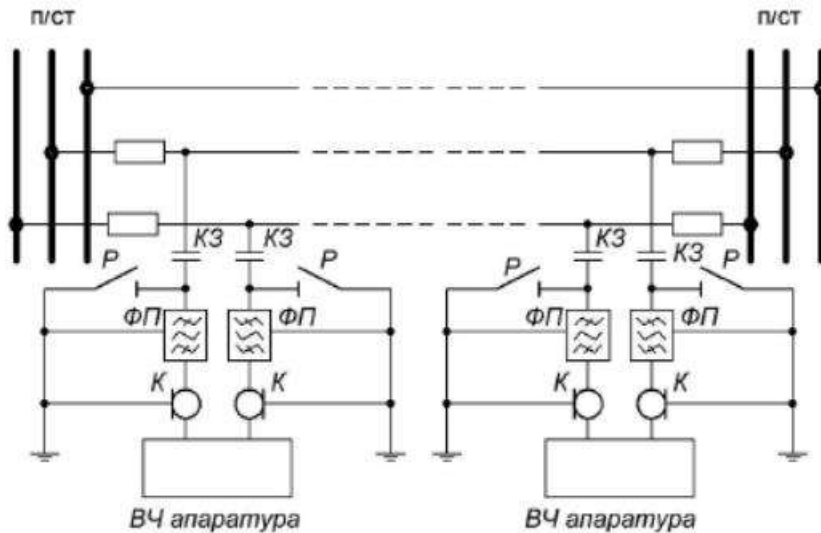


Рисунок 5.9 – Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою «фаза-фаза»

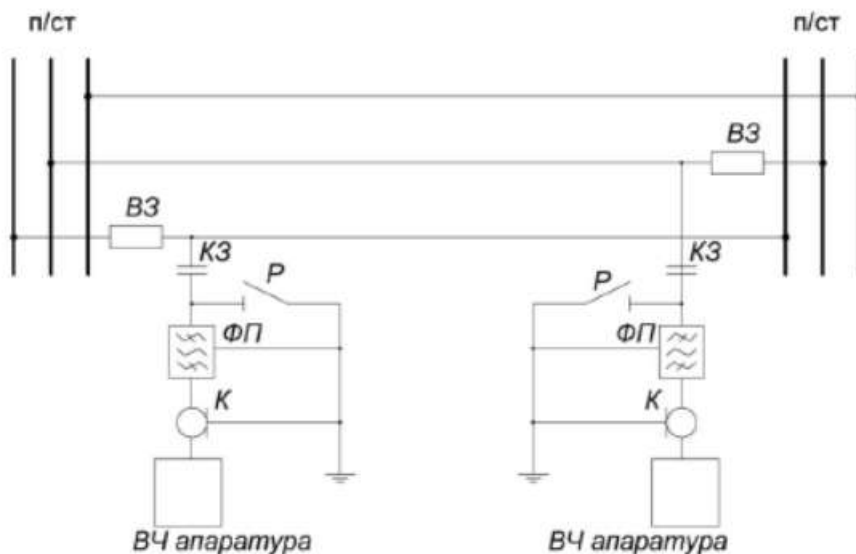


Рисунок 5.10 – Приєднання приймача й передавача до різних фаз ПЛ за схемою «фаза-земля»

Основним недоліком схеми "фаза-земля" є мале перехідне загасання між трактами і як наслідок цього, – більші складнощі при виборі частот для каналів зв'язку.

Схема "провід-провід" розщепленої фази

Схему "провід-провід" розщепленої фази (рис.5.11, 5.12) звичайно застосовують на ПЛ-330 кВ, рідше на ПЛ-500 кВ. Основними перевагами схеми є: висока заводозахищеність від джерел завад, що перебувають поза

розщепленою фазою; мале кілометричне загасання; рівномірна характеристика вхідного опору. Основний недолік - різке збільшення загасання тракту при ожеледі на дротах ПЛ.

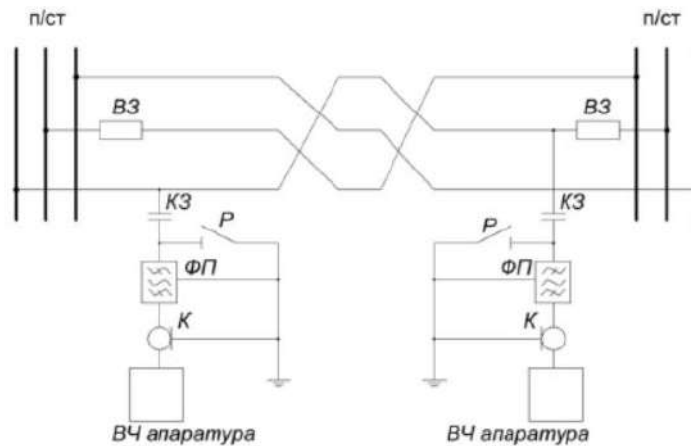


Рисунок 5.11 – Приєднання приймача й передавача до різних фаз транспонованої ПЛ за схемою "фаза-середня-земля з обох кінців ПЛ"

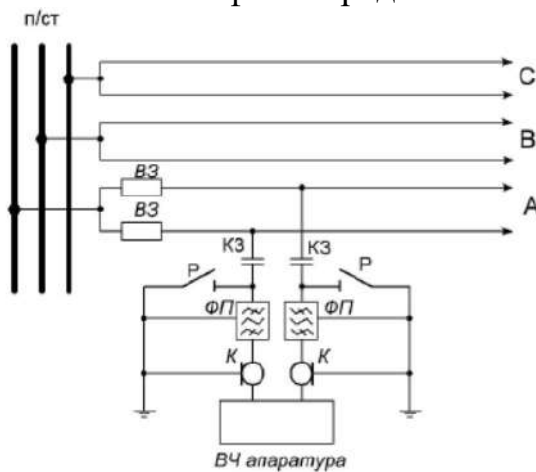


Рисунок 5.12 - Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою "провід-провід" розщепленої фази з однофазними фільтрами ФП

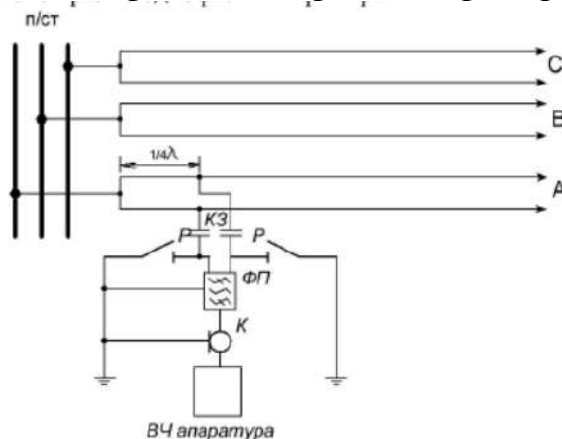


Рисунок 5.13 – Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою "провід-провід" розщепленої фази з двофазним ФП та використання петлі дротів розщепленої фази у якості ВЧ загороджувача

5. Високочастотні тракти по грозозахисних тросах.

Застосовують схеми: "трос-земля" (рис. 5.14), "два троси-земля" та "трос-трос". Всі ці схеми мають приблизно однакові високочастотні параметри і тому частіше застосовують найпростішу схему "трос-земля". Перевагою трактів по грозозахисних тросах є простота пристрою проміжних підсилювачів, порівняно недороге устаткування пристроїв обробки та приєднання. На ПЛ-750 застосовують схему "трос-трос" розщепленого грозозахисного троса. Схема має переваги трактів "провід-провід" розщепленої фази й трактів по провідних тросах, має низький рівень завад.

Недолік схеми – найбільший вплив ожеледі й найменша механічна міцність у порівнянні з іншими видами ВЧ-зв'язку по ПЛ.

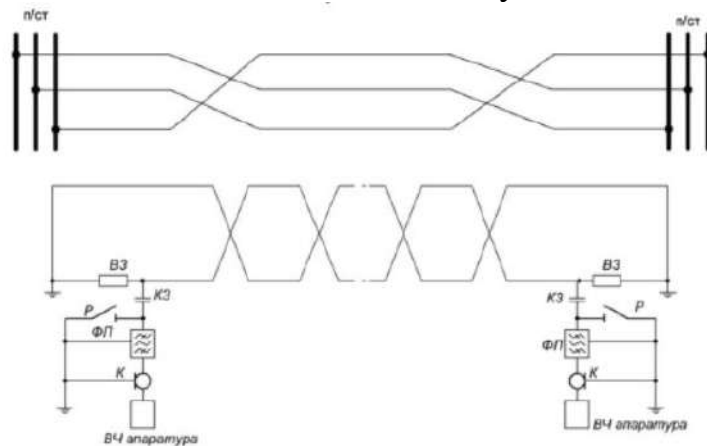


Рисунок 5.14 - Приєднання ВЧ апаратури до тракту "трос-земля"

6. Вибір частот для каналів ВЧ зв'язку.

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.

Тема 6. Основи автоматизованих систем управління

1. Загальні характеристики АС: Призначення, структура, стандартизація і уніфікація.
2. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП). Загальні характеристики. Призначення, структура.
3. Види забезпечення АСУТП.
4. Технічне забезпечення. Комутатори АСУТП.
5. Перетворювачі інформації в АСУТП.
6. Життєвий цикл АСУ.

1. Загальні характеристики АС: Призначення, структура, стандартизація і уніфікація

Задачі, пов'язані з автоматизацією виробничих процесів, зводяться до створення систем управління машинами, агрегатами, верстатами, поточними лініями.

Система – це сукупність взаємопов'язаних елементів, що становить певну цілісність, єдність.

Управління – це сукупність цілеспрямованих дій, що включає оцінку ситуації та стану об'єкта управління, вибір керівних дій і їх реалізацію.

Управління є процесом організації такого цілеспрямованого впливу на об'єкт, при якому об'єкт переходить в необхідний стан.

Система управління (СУ) – сукупність ланок, які здійснюють управління, і зв'язків між ними.

У будь-якому процесі управління існує об'єкт, яким управляють (верстат, підприємство, галузь) і орган, який здійснює управління (технічний засіб, людина). У процесі управління цей орган отримує інформацію про стан зовнішнього середовища, де перебуває об'єкт і з яким він пов'язаний. Уся ця інформація сприймається управляючим органом, який виробляє на її основі управляючу інформацію (приймає рішення). На основі прийнятого рішення виконавчий орган здійснює управляючий вплив на об'єкт управління.

Структурна схема системи управління наведена на рис.1.1.

Об'єкт управління (ОУ) – умовно виокремлена частина системи, на яку впливає система управління для досягнення необхідного результату.

Управління завжди здійснюється для досягнення зазначеної мети, яка завжди конкретна для заданого об'єкта управління і пов'язана зі станом об'єкта та середовища, в якому він перебуває.

Серед усіх видів інформації, що надходить до управляючого органу, надзвичайно важлива інформація, яка йде по лініях зворотного зв'язку від об'єкта управління. У системах управління зворотний зв'язок визначається як інформаційний зв'язок, за допомогою якого в управляючу частину надходить інформація про наслідки управління об'єктом, тобто інформація про новий стан об'єкта, який виник під впливом управляючих дій.

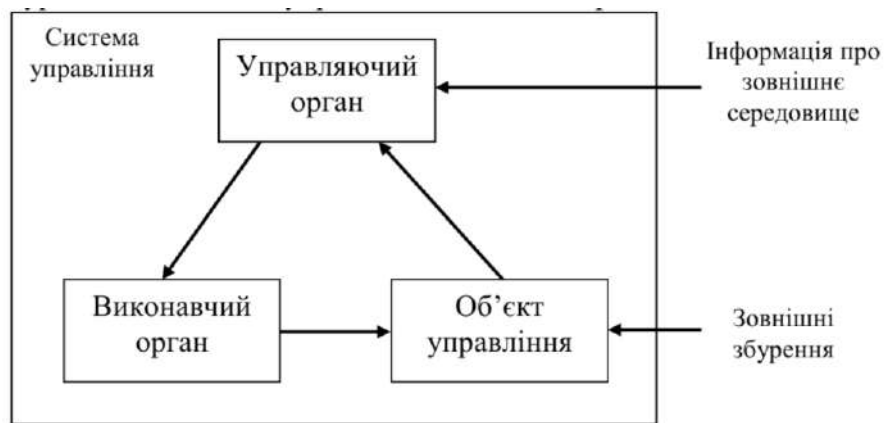


Рисунок 6.1 – Структурна схема системи управління.

Автоматичне і автоматизоване управління.

Системи управління поділяються на два класи: системи автоматичного управління (САУ) і автоматизовані системи управління (АСУ).

У САУ управління об'єктом або системою здійснюється автоматичними пристроями без безпосередньої участі людини.

Основні функції САУ: автоматичний контроль і вимірювання, автоматична сигналізація, автоматичний захист, автоматичний пуск і зупинка різних двигунів і приводів, автоматична підтримка заданих режимів роботи устаткування, автоматичне регулювання.

На відміну від САУ в АСУ у сферу управління включена людина, на яку покладаються функції прийняття найважливіших рішень і відповідальності за прийняті рішення.

АСУ є людино-машинними системами, що використовують сучасні економіко-математичні методи, засоби електронно-обчислювальної техніки, а також нові організаційні принципи для пошуку і реалізації ефективного управління об'єктом. У роботі АСУ необхідна участь людини - оператора.

Автоматизована система (АС) – це сукупність апаратних (технічних) та програмних засобів, що виконують цільові завдання під керуванням людини.

Автоматичною системою керує алгоритм без участі людини.

Автоматизована система управління - автоматизована система (АС), призначена для автоматизації процесів збирання та пересилання інформації про об'єкт управління, її перероблення та видачі керівних дій на об'єкт управління.

Автоматизована система управління – сукупність математичних методів, технічних засобів і організаційних комплексів, що забезпечують раціональне управління складним об'єктом або процесом відповідно до заданої мети.

АСУ повинна здійснювати наступні дії:

- збирання, обробку і аналіз інформації (сигналів, повідомлень, документів і т. п.) про стан об'єкту управління;
- вироблення управляючих дій (програм, планів і т. п.);
- передавання управляючих дій (сигналів, вказівок, документів) на виконання;
- реалізація і контроль виконання управляючих дій;

- обмін інформацією (документами, повідомленнями тощо) зі взаємозв'язаними автоматизованими системами.

Масове проектування АСУ, яке почалося тридцять років тому, вимагало розробки єдиних теоретичних положень, методичних підходів до їх створення і функціонування, без чого неможлива взаємодія різноманітних економічних об'єктів, їх нормальне функціонування в складаному багаторівневому народногосподарському комплексі.

Початково сформульовані академіком В. М. Глушковым науково-методичні положення та рекомендації з проектування автоматизованих систем управління тепер склались як принципи побудови АСУ, закріплені державним стандартом. До них належать принципи системності, розвитку, сумісності, стандартизації та уніфікації, ефективності.

1. Принцип системності є основоположним при створенні, функціонуванні і розвитку АСУ. Він дає змогу розглядати досліджуваний об'єкт як одне ціле; виявляти на цій підставі різноманітні типи зв'язків між структурними елементами, які забезпечують цілісність системи; установлювати напрямок виробничо-господарської діяльності системи і реалізовувати нею конкретні функції. Системний підхід передбачає проведення двохаспектного аналізу, відомого під назвою «макро- і мікропідходів».

2. Принцип розвитку полягає в тому, що АСУ створюється з урахуванням можливості постійного поповнення й оновлення функцій системи і видів її забезпечення. Передбачається, що автоматизована система має нарощувати свої обчислювальні можливості, оснащуватись новими технічними і програмними засобами, бути здатною постійно розширювати й поновлювати склад задач та інформаційний фонд, який створюється у вигляді баз даних.

3. Принцип сумісності полягає в забезпеченні здатності взаємодії АСУ різних видів, рівнів у процесі їх спільного функціонування. Реалізація цього принципу дає змогу забезпечити нормальне функціонування економічних об'єктів, підвищить ефективність управління народним господарством та його окремими ланками.

4. Принцип стандартизації та уніфікації полягає в необхідності застосування типових уніфікованих і стандартизованих елементів функціонування АСУ. Упровадження в практику створення і розвитку АСУ цього принципу дає змогу скоротити часові, трудові і вартісні витрати на створення АСУ за максимально можливого використання нагромадженого досвіду у формуванні проектних рішень і впровадженні автоматизації проектних робіт.

5. Принцип ефективності полягає в досягненні раціонального співвідношення між витратами на створення АСУ і цільовим ефектом, одержаним при її функціонуванні.

Види АСК

Автоматизована система керування підприємства (АСКП) призначена для вирішення основних завдань керування виробничо-господарською діяльністю промислового підприємства в цілому і (або) його самостійних

частин на основі застосування економіко-математичних методів і засобів обчислювальної техніки.

Проблема автоматизованого керування сучасним промисловим підприємством відноситься до числа вельми складних і трудомістких. Відзначимо основні особливості АСКП, які визначають специфічні труднощі їх створення і використання:

а) домінуюче значення в АСКП мають економічні завдання керування: нормальне функціонування підприємства можливе лише при наявності неперервних зв'язків між виробництвом і постачанням, виробництвом та фінансовими засобами, виробництвом і реалізацією готової продукції;

б) визначальними в керуванні підприємством являються не технологічні обмеження, а директивні вказівки у вигляді плану, що мають силу закону і обов'язкові до виконання;

в) істотний постійний взаємозв'язок між багатьма іншими підприємствами (організаціями) та наявність внаслідок-цього таких специфічних завдань, як керування постачанням, збутом, фінансовою діяльністю, складання статистичної звітності, облік вартісних показників, проблеми бухгалтерського обліку, економіко-статистичні розрахунки і т. д.;

г) важливу роль відіграють різноманітні завдання керування людьми і трудовими ресурсами (підготовка наказів та розпоряджень, контроль за прийомом і звільненням, розрахунок заробітної плати, контроль за її плануванням і витрачанням і т. д.);

д) в АСКП використовуються специфічні форми зберігання та руху інформації - документообіг, пов'язаний за участю у вирішенні загальної задачі керування великого колективу людей.

Внаслідок сильної взаємопов'язаності різних показників роботи підприємства основним критерієм керування для АСКП є прибуток підприємства за планований період (наприклад, за 1 рік). Максимізація цього критерію при обліку інших показників у вигляді відповідних обмежень може часто вважатися формалізованою метою роботи підприємства.

Автоматизована система керування технологічним процесом (АСК ТП) – це АСК для керуючих впливів на технологічний об'єкт керування у відповідності з прийнятим критерієм керування. Оскільки це один з різновидів АСК, то їй властиві такі ознаки, загальні для всіх АСК:

АСК ТП - це людино-машинна система, в якій людина відіграє найважливішу роль, приймаючи в більшості випадків змістовну участь у виробленні рішень по керуванню;

істотне місце в АСК ТП займають автоматизовані пристрої (у тому числі кошти обчислюваної техніки), що виконують трудомісткі операції по збору, обробці та переробці інформації;

мета функціонування АСК ТП - оптимізація роботи об'єкта шляхом відповідного вибору керуючих впливів.

Крім того, слід мати на увазі, що АСК може бути віднесена до класу АСК ТП тільки в тому випадку, якщо вона здійснює вплив на об'єкт в тому темпі, що

і технологічні процеси, які протікають у ньому, забезпечує керування технологічними об'єктами в цілому, а її технічні засоби беруть участь у розробці рішень з керування. Останніми двома обставинами АСК ТП якісно відрізняється від традиційних систем автоматизації і різноманітних локальних систем автоматики, які по суті являють собою *технічні засоби* для автоматизації дій людини на тій чи іншій ділянці процесу. На відміну від цього в АСК ТП реалізується автоматизований процес прийняття рішень по керуванню технологічним об'єктом як єдиним цілим, для чого в АСК ТП застосовуються різні «інтелектуальні» автоматичні пристрої переробки інформації, і перш за все - сучасні засоби обчислювальної техніки.

Інтегровані АСК. За сучасними поглядами, відображеними у відповідних нормативних документах, АСК ТП не входять безпосередньо до складу АСК підприємствами. При розробці, впровадженні та експлуатації на одному підприємстві АСК ТП і АСКП вони розглядаються як взаємозалежні, але окремі системи, між якими існують відносини ієрархічної співвідпорядкованості як молодшого до старшого, а не як частини до цілого. Аналогічно трактуються співвідношення між АСКП і галузевими АСК (ГАСК), АСК агрегатами і АСК виробництвами: всі вони не «вкладені» одна в іншу, а утворюють багаторівневу ієрархію автоматизованих систем керування промисловими об'єктами.

При наявності на підприємстві автоматизованої системи керування, яка відноситься до класу АСКВ, АСК ТП отримує від відповідних підсистем АСКП завдання і обмеження (номенклатурі підлягають випуск продуктів або виробів, обсяг виробництва, задані значення техніко-економічних показників і ін.), а також забезпечує підготовку та передачу цим системам необхідної техніко-економічної інформації, зокрема, про виконання завдань, основних показників продукції, що випускається, стану обладнання, хід технологічного процесу тощо.

Органічне поєднання декількох АСК ТП між собою або з АСКП, здійснюване з метою підвищення загальної технічної та економічної ефективності їх функціонування, призводить до появи на промислових підприємствах інтегрованих АСК (ІАСК). Слід підкреслити, що ІАСК особливо ефективні у тих випадках, коли в них реалізується взаємозв'язане узгоджене керування як технологією, так і організацією виробництва в масштабі всього підприємства.

2. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП). Загальні характеристики. Призначення, структура.

Основним інструментом для вирішення сучасних проблем керування технологічними процесами (ТП) служать так звані автоматизовані системи керування (АСК), в яких центральна, найголовніша роль і творчі здібності людини поєднуються із широким застосуванням сучасних математичних методів і засобів автоматизації, включаючи мікропроцесорні контролери.

Відповідно до державного стандарту України (ДСТУ) АСК ТП - це людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір інформації з первинних (ПП) або передавальних (ПрП) перетворювачів сигналів і її первинну обробку (фільтрування сигналів, лінеаризація характеристик ПП і ПрП, "офізичення" сигналів, тобто перетворення сигналів у значення параметрів у фізичних одиницях виміру) для розрахунку, видачі та реалізації керуючих впливів на об'єкт керування відповідно до прийнятих критеріїв керування. АСК ТП здійснює реалізацію впливів на об'єкт керування в темпі з технологічним процесом, тобто в реальному часі, при цьому забезпечує керування об'єктом в цілому, а її технічні засоби беруть участь у виробленні рішень з керування. Зазначеними обставинами АСК ТП якісно відрізняється від традиційних систем автоматичного керування (САК), які представляють технічні засоби для автоматизації дій людини на окремих ділянках технологічного процесу. На відміну від цього в АСК ТП реалізується автоматизований процес прийняття рішень з керування технологічним процесом як єдиним цілим, для чого в ній застосовують різне "інтелектуальне" автоматичне обладнання обробки інформації, в першу чергу сучасні багатофункціональні, високопродуктивні мікропроцесорні контролери (МПК). Таким чином, АСК ТП характеризується єдністю і взаємодією трьох основних складових:

- об'єкт керування (ОК) - це технологічні процеси з агрегатами, апаратами, установками та ін. та трубопроводами матеріальних потоків, що з'єднують все устаткування;
- технічні засоби (ТЗ) - автоматичне обладнання обробки інформації, в тому числі МПК;
- оперативний персонал (ОП) - оператори-технологи, експлуатаційний персонал.

При розробці системи автоматизації кожний агрегат, механізм, технологічний процес, виробництво, які підлягають автоматизації, називають об'єктом керування. Поєднання об'єкта керування з комплексом технічних засобів автоматизації прийнято називати системою автоматичного керування. Властивості (статичні та динамічні) об'єкта автоматизації визначають структуру комплексу технічних засобів автоматизації. Тому поняття об'єкта керування – одне з центральних у теорії автоматичного керування.

Залежно від обсягу завдань, які на неї покладені, автоматизація класифікується так:

часткова, що передбачає автоматизацію окремих технологічних процесів, пристроїв, елементів обладнання;

комплексна – провадиться на дільниці, у бригаді, в цеху, підприємстві, які функціонують як єдиний взаємопов'язаний комплекс; при цьому автоматизацією охоплені основні виробничі функції підприємства, відділення;

повна – передбачає передачу всіх функцій керування і контролю виробництвом автоматичній системі керування.

АСК ТП – це людино-машинні системи керування, що забезпечують автоматизований збір і обробку інформації про стан і функціонування керування технологічним об'єктом, здійснюючи на основі цієї інформації оптимізацію протікання процесів керування технологічним об'єктом відповідно до прийнятого критерію.

АСК ТП є окремим випадком систем керування зі зворотними зв'язками, які характеризуються наявністю самостійних функцій та цілей керування, а також необхідної для реалізації цих функцій і цілей спеціальною системною організацією.

Характерні особливості АСК ТП:

наявність сучасних автоматичних засобів (обчислювальної техніки) збору і обробки інформації;

людина виступає в ролі суб'єкта праці, основні функції якого полягають у прийнятті управляючих рішень на основі отриманої інформації про об'єкт керування та даних про можливі альтернативні варіанти управляючих рішень;

здійснення обробки технічної та техніко-економічної інформації;

вироблення управляючих впливів проводиться в реальному масштабі часу;

як компонент системи керування промисловим підприємством АСК ТП призначена для цілеспрямованого проведення технологічних процесів і забезпечення більш високих рівнів керування оперативною й достовірною інформацією техніко-економічного характеру;

можливість мати багаторівневу ієрархічну структуру, забезпечувати керування автоматизованими технологічними комплексами, технологічними об'єктами, допоміжними процесами (транспортування, складування й т.п.), що входять до процесу виробництва;

одержання від відповідних підсистем АСКП або служб керування підприємством завдань і обмежень щодо номенклатури запланованих до випуску виробів, обсягів виробництва, техніко-економічних показників та забезпечення підготовки й передачі цим підсистемам або службам керування необхідних для їхньої роботи даних про стан і функціонування автоматизованих технологічних комплексів.

При наявності на підприємстві автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва повинна бути налагоджена взаємодія АСК ТП із цією системою. АСК ТП повинна одержувати від автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва технологічну та іншу необхідну їй інформацію, передавати автоматизованій системі технологічної підготовки виробництва оперативні дані для коректування її рішень на наступних часових інтервалах.

Цілі функціонування АСК ТП у кожному конкретному випадку можуть бути різними, наприклад:

економія палива, сировини, енергії та інших видів виробничих ресурсів;

забезпечення безпеки функціонування;

підвищення якості кінцевого продукту;

- зниження витрат живої праці;
- досягнення оптимальних завантажень устаткування;
- оптимізацію режимів роботи керуванням технологічним об'єктом тощо.

Призначення будь-якої автоматизованої системи керування, її необхідні функціональні можливості, бажані технічні характеристики та інші особливості у вирішальній мірі визначаються тим об'єктом, для якого створюється дана система. Для АСК ТП керованим об'єктом є так званий *технологічний об'єкт керування* (ТОК), що представляє собою сукупність технологічного обладнання та реалізованого на ньому за відповідними інструкціями або регламентом технологічного процесу виробництва цільового продукту. У якості ТОУ можуть розглядатися:

- технологічні агрегати і установки;
- окремі виробництва, що реалізують самостійний, закінчений технологічний цикл;
- виробничий процес всього промислового підприємства, якщо керування ним носить в першу чергу і в основному технологічний характер, тобто полягає у виборі та узгодженні раціональних режимів роботи взаємопов'язаних агрегатів, ділянок і виробництв.

Призначення АСК ТП зазвичай можна визначити як цілеспрямоване ведення технологічного процесу і забезпечення суміжних і вищестоящих систем керування необхідною інформацією. У ряді випадків, коли функціонування нових надпотужних об'єктів без сучасної АСК виявляється практично неможливим, призначенням такої системи є досягнення реалізації і стійкості технологічного процесу при високо інтенсивних і економічних режимах використання обладнання.

Створення і функціонування кожної АСК ТП повинно бути спрямоване на отримання цілком визначених техніко-економічних результатів (зниження собівартості продукції, зменшення втрат, підвищення продуктивності праці, якості цільових продуктів, поліпшення умов праці персоналу і т. п.). Тому необхідно чітко конкретизувати мету функціонування системи. Прикладами таких цілей для технологічних об'єктів можуть служити: забезпечення безпеки функціонування; стабілізація параметрів вхідних потоків; отримання заданих параметрів вихідних продуктів; оптимізація режиму роботи об'єкта; узгодження режимів роботи устаткування.

Ступінь досягнення поставлених цілей прийнято характеризувати за допомогою так званого *критерію керування*, тобто показника, який досить повно характеризує якість ведення технологічного процесу і приймаючого числові значення в залежності від вироблюваних системою керуючих впливів.

Як правило, загальний критерій економічної ефективності керування технологічним процесом не застосовується через складність визначення необхідних кількісних залежностей в конкретних умовах; у таких випадках формують частинні критерії оптимальності, що враховують специфіку керованого об'єкта і доповнені умовними обмеженнями. Такими критеріями, наприклад, можуть бути:

- максимальна продуктивність агрегату при визначених вимогах до якості продукції, умов експлуатації устаткування і т. д.;
- мінімальна собівартість при випуску продукції в заданому обсязі і заданій якості;
- мінімальна витрата деяких компонентів, наприклад дорогих присадок або каталізатора.

Щоб домогтися бажаного (у тому числі оптимального) ходу технологічного процесу, в системі керування їм необхідно в потрібному темпі виконувати багато різних взаємопов'язаних дій: збирати та аналізувати інформацію про стан процесу, реєструвати значення одних змінних і стабілізувати інші, приймати і реалізовувати відповідні рішення по керуванню і т. д. Саме ця «діяльність» системи керування була раніше названа функціонуванням, тобто виконанням нею встановлених функцій.

Функції АСК ТП – це сукупність дій системи, спрямовані на досягнення частинної мети керування. При цьому в якості дій розглядаються заздалегідь визначені і описані в експлуатаційній документації послідовності операцій і процедур, що виконуються частинами системи. В більшості випадків під терміном «функція АСК ТП» розуміють таку закінчену сукупність дій, виконуваних системою, яка проявляється поза нею і тому має певну споживчу цінність.

Прийнято розрізняти *інформаційні та керуючі* функції АСК ТП

До *інформаційних* відносяться такі функції АСК ТП, результатом виконання яких є подання оператору системи або якому-небудь зовнішньому одержувачу інформації про хід керованого процесу.

Прикладами інформаційних функцій АСК ТП є:

- контроль за основними параметрами, тобто неперервна перевірка відповідності параметрів процесу допустимим значенням і негайне інформування персоналу при виникненні невідповідностей;
- вимір або реєстрація за викликом оператора тих параметрів процесу, які його цікавлять в ході керування об'єктом;
- інформування оператора (за його запитом) про виробничі ситуації на тій чи іншій ділянці об'єктів та керування в даний момент;
- інформування оператора (за його запитом) про виробничі ситуації на тій чи іншій ділянці об'єктів та керування в даний момент;
- обчислення за викликом оператора деяких комплексних показників, що не піддаються безпосередньому вимірюванню і характеризують якість продукції або інші важливі показники технологічного процесу;
- обчислення досягнутих техніко-економічних показників роботи технологічного об'єкта;
- періодична реєстрація вимірюваних параметрів і обчислюваних показників;
- виявлення і сигналізація настання небезпечних (перед аварійних, аварійних) ситуацій.

Виконуючи ці основні інформаційні функції, АСК ТП своєчасно забезпечує свого оператора (диспетчера) відомостями про стан і будь-які відхилення від нормального протікання технологічного процесу.

Керуючі функції АСК ТП включають в себе дії по виробленню і реалізації керуючих впливів на об'єкт керування. Тут під виробленням розуміється визначення (на підставі отриманої інформації) раціональних впливів, а під реалізацією – дії, які забезпечують здійснення прийнятих після виробітку рішень.

До основних керуючих функцій відносяться:

- стабілізація змінних технологічного процесу на деяких постійних значеннях, визначених регламент виробництва;
- програмна зміна режиму процесу за заздальгідь заданими законами;
- захист обладнання від аварій;
- формування та реалізація керуючих впливів, що забезпечують досягнення або дотримання режиму, оптимального за технологічним або техніко-економічним критерієм;
- розподіл матеріальних потоків і навантажень між технологічними агрегатами;
- керування пуском і зупинкою агрегатів та ін.

Автоматизована система керування технологічними процесами виконує також *допоміжні* функції, до яких відноситься, наприклад, контроль за справністю функціонування самої АСК, тобто рішення внутрішньо системних завдань і т. п.

Залежно від участі обслуговуючого персоналу розрізняють два режими реалізації функції АСК ТП автоматичний і автоматизований. Допоміжні функції повинні виконуватись тільки в автоматичному режимі. Інформаційні функції також в цілому повинні виконуватись в автоматичному режимі, а в автоматизованому режимі виконують тільки операції для аналітичного контролю деяких параметрів технологічних процесів.

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. До технологічних даних можливо віднести:

- поточні значення електричних величин, що характеризують основну трифазну мережу змінного струму - напруг, струмів, потужностей, частоти, а також показники якості електричної енергії;
- поточні значення величин, що характеризують допоміжні мережі об'єкту;
- електричні параметри мережі власних потреб і мережі постійного струму, параметри мережі повітряприготування;

- поточні значення теплотехнічних та інших величин на електростанціях, що характеризують процес генерації електроенергії - тиск та температуру газу, пари, води або інших теплоносіїв;
- осцилограми перехідних процесів - наприклад, коротких замикань у мережі;
- положення електричних комутаційних апаратів, стану пристроїв захисту та автоматики, клапанів, вентилів;
- параметри, що характеризують кліматичні обставини на об'єкті - температуру й тиск повітря, швидкість вітру;
- діагностичні параметри, що характеризують стан устаткування - наприклад, кількість відключень вимикачів, тангенс кута діелектричних втрат в ізоляції.

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.

Існує міжнародний стандарт МЭК 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 .

3.Види забезпечення АСУТП.

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.

4. Технічне забезпечення. Комутатори АСУТП.

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. Повідомлення можуть мати різний вигляд: або це звичайний паперовий документ, або повідомлення «у машинному виді», або те й інше одночасно. Що саме визначає розроблювач АСКП залежить від багатьох факторів: необхідного ступеня автоматизації інформаційних процесів; управлінських функцій, у рамках яких повідомлення створюються.

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. У допоміжних процедурах обробки інформації можуть застосовуватися різного роду електронні лічильно-клавійні пристрої.

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.

Вибір технічних засобів АСКП регламентований нормативними документами. Ці документи враховують:

- специфіку окремої організації, містять рекомендації з вибору типу й розрахунків кількості засобів збору;
- реєстрацію первинної обробки даних, засобів підготовки, обробки й накопичення інформації;
- засоби представлення й відображення даних, включаючи відеотермінальні пристрої, телекомунікаційні засоби;
- засоби диспетчеризації й пристрої рахунку продукції, у тому числі пристрої автоматизації оперативного контролю над ходом виробничого процесу, засобів оргтехніки, допоміжного обладнання й матеріалів, комплектів проектної документації.

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.

Пристрою введення/виводу представлені не однієї конструктивною одиницею у зв'язку з тим, що види виведеної інформації, що вводиться 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.

У багатопроцесорних ЕОМ, у яких кілька процесорів працюють одночасно, продуктивність машини дорівнює сумі продуктивності процесорів. У цьому випадку говорять про багатопроцесорну архітектуру. В особливо потужних ЕОМ число процесорів досягає декількох десятків.

Одним з основних факторів, що визначають основні тенденції розвитку електронної обчислювальної техніки, є тип елементної бази. Нові технічні можливості, що з'являлися зі створенням нових елементів і пристроїв, дозволили розробити більш досконалі АСУ. Технічне забезпечення, засноване на ІВМ з відкритою архітектурою, дозволять здійснювати взаємозамінність, нарощування потужності під час експлуатації. Сьогодні не варто говорити про сталість технічного забезпечення АСУ, зокрема АСКП, тому що темпи розвитку ЕОМ, робочих станцій і т.д. легко заміняється більш високорозвиненими, високошвидкісними системами.

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.

До загальнотехнічних параметрів відносяться:

- температура;
- тиск (розрядження, перепад тисків);
- рівень;
- витрати;
- електричні (сила струму, напруги, потужність).

Релейно-контактні пристрої об'єднують групу пристроїв автоматики, до якої входять реле, контактори й магнітні пускачі.

Реле – це пристрій, стан якого (наприклад, положення контактів) змінюється дискретно при плавній зміні вхідної управляючої величини. Реле бувають контактними й безконтактними (напівпровідникові, магнітні).

До контактних відносяться електромеханічні реле, у яких вхідна електрична величина (струм, напруга) перетвориться в механічне переміщення рухомої частини реле, що забезпечує замикання або розмикання контактів, включених в електричне коло, що управляється. Контакти реле можуть бути трьох видів: нормально розімкнуті, нормально замкнені і перемикаючі. Нормальний стан визначається при знеструмленій обмотці реле.

По числу стійких станів (положень контактів) реле підрозділяють на двопозиційні та багатопозиційні. Багатопозиційні реле характеризуються наявністю трьох і більш стійких станів.

За принципом дії електромеханічні реле підрозділяють на електромагнітні, магнітоелектричні, електродинамічні, індукційні й теплові.

Для включення і відключення потужних електродвигунів та інших приймачів електроенергії застосовують контактори й магнітні пускачі.

Контактор – електромеханічний апарат для дистанційної комутації силових електричних кіл низької напруги. Розрізняють контактори постійного й змінного струму.

Магнітний пускач – електромеханічний апарат змінного струму, призначений для дистанційного пуску, зупинення і захисту електричних установок. Магнітні пускачі можуть бути реверсивними, забезпечуючи можливість зміни напрямку обертання двигуна, і неревверсивними.

5.Перетворювачі інформації в АСУТП.

Вимірювальний перетворювач – це засіб вимірювань, необхідний для вироблення вимірювальної інформації у формі, придатній для передачі, подальшого перетворення, обробки і зберігання, але такої, що непіддатна безпосередньому сприйманню спостерігачем. Вимірювальні перетворювачі є складовою частиною вимірювальних приладів, різних систем автоматичного контролю і регулювання технологічних процесів. Перетворювач, до якого підведена вимірювана величина, є первинним (термопара, термоопір, діафрагма і т. п.), а той, що призначений для дистанційної передачі сигналу вимірювальної інформації с передавальним (реостатний, індуктивний, пневматичний і т. п.).

Вимірювальна установка – це сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювання (мір, вимірювальних приладів і перетворювачів) та допоміжних пристроїв, призначених для вироблення сигналів вимірювальної інформації у зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем формі і розташованих в одному місці.

Установки, як правило, створюються для контролю роботоздатності тих чи інших технічних систем, для перевірки різних засобів вимірювань та ін.

Вимірювальні системи призначені для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, що зручна для автоматичної обробки, передачі і використання в автоматичних системах керування. Головна їх ціль – це автоматизація процесу вимірювань і використання результатів вимірювання для автоматичного керування різними технологічними процесами. До складу таких систем можуть входити перетворювачі, схеми автоматичного регулювання, міри і вимірювальні прилади.

Якщо різні елементи розташовані на значній відстані, то зв'язок поміж ними може здійснюватись як по провідним, так і по безпроводним каналам.

Крім первинних вимірювальних пристроїв у системах автоматичного контролю та керування широко застосовують і різноманітні проміжні

перетворювачі, до яких належать також передавальні перетворювачі, призначені забезпечувати передавання сигналів вимірювальної інформації на відстань. Саме на їх основі створюють системи дистанційного передавання інформації.

Зазвичай такі перетворювачі пасивні, тобто вони не можуть перетворювати енергію безпосередньо, а лише керують енергією чи збудженням, які надходять від зовнішнього джерела.

З електричних аналогових перетворювачів, виконаних за схемою компенсації переміщень для перетворення неелектричних величин в електричний вихідний сигнал і передавання показань на відстань, найбільшого поширення набули диференціально-трансформаторні, феродинамічні, сельсинні, магнітотрансдукційні (тільки для перетворення), з пневматичних – перетворювачі лінійне переміщення– пневмосигнал, а за схемою компенсації сил – силові (сила – тиск і сила– струм), перехідні (електропневматичні, пневмоелектричні) перетворювачі.

Характерна особливість перетворювачів, виконаних за схемою компенсації переміщень, – великі (до 20 – 25 мм) переміщення рухомих деталей конструкції, що спричиняє виникнення значних реактивних сил у пружних елементах (мембранах, сильфонах, стрічкових опорах тощо). Це знижує точність таких перетворювачів, збільшує їх інерційність. Переміщення рухомих елементів перетворювачів, виконаних за схемою компенсації сил, настільки малі (соті частки міліметрів), що проблеми врахування дії реактивних сил у пружних елементах узагалі не виникає, а наявність силового зворотного зв'язку забезпечує значне підвищення їх точності.

Проміжним вимірювальним перетворювачем (або скорочено проміжним перетворювачем) називають елемент, що займає у вимірювальному ланцюгу місце після первинного вимірювального перетворювача. Основне призначення проміжного перетворювача – перетворення вихідного сигналу первинного вимірювального перетворювача у форму, зручну для подальшого перетворення в сигнал вимірювальної інформації для дистанційної передачі. Поряд з перетворенням вимірювальної інформації часто виникає необхідність підсилення сигналу, наприклад, його потужності, перетворення вихідного опору та ін.

При зміні неелектричних технологічних параметрів, таких, як витрата, тиск, перепад тиску, рівень, багато первинних вимірювальних перетворювачів перетворюють вимірювану величину у зміщення. Подальше перетворення зміщення в електричний параметр здійснюється за допомогою проміжних перетворювачів зміщення: тензометричних, ємнісних, п'єзоелектричних, індуктивних.–

Функціональна залежність вихідної величини від вхідної $y=f(x)$, задана аналітичним виразом або графіком, називається статичною характеристикою перетворювача.

Для вимірювальних перетворювачів, що застосовуються у системах автоматичного керування, статична характеристика повинна бути лінійною,

тобто $y=kx$, де k - чутливість перетворювача, тобто його здатність реагувати на найменші зміни вимірювальної величини .

Метрологічними характеристиками перетворювачів, крім того, є:

- 1) межі основної похибки, у відсотках від верхньої межі виміру або в одиницях вимірюваної величини;
- 2) додаткова похибка, що виникає при відхиленні умов виміру від нормальних;
- 3) динамічна похибка, що виникає при зміні вимірюваної величини і дорівнює різниці між значенням вихідного сигналу в динамічному режимі і його значенням в усталеному режимі;

Види перетворювачів

За видом вихідної величини первинного вимірювального перетворювача перетворювачі поділяються на генераторні і параметричні.

У генераторних перетворювачах відбувається безпосереднє перетворення вимірюваної величини (температури, світлового потоку, швидкості руху рідини й інших фізичних величин) в електричний або інший сигнал вимірювальної інформації. Найчастіше вихідним сигналом є електрорушійна сила.

У параметричних перетворювачах вимірювана величина (температура, рівень, тиск і ін.) викликає зміну деякого параметра (електричного опору, індуктивності, ємності й ін.), що потім перетворюється в сигнал вимірювальної інформації. Тому параметричні перетворювачі складаються з трьох і більшого числа перетворюючих елементів.

Найбільш широке застосування в автоматичних системах знайшли вимірювальні перетворювачі, у яких вимірювана величина спочатку перетворюється в механічне переміщення, а потім за допомогою декількох елементів в електричний сигнал.

При автоматизації виробничих процесів у гідромеліорації найбільше широко застосовують термоелектричні, терморезисторні, реостатні, ємнісні, індуктивні, ультразвукові вимірювальні перетворювачі.

За принципом перетворення енергії розрізняють активні і пасивні давачі, що відрізняються способами формування сигналу і схемами підключення:

активні (генераторні) – давачі, у яких здійснюється перетворення видів енергії від входу до виходу;

пасивні (параметричні) – давачі, у яких вхідна енергія змінює параметри визначених елементів первинних вимірювальних перетворювачів.

За вхідними фізичними величинами, що підлягають перетворенню давачі бувають: електричні та магнітні; теплових величин; механічних величин; оптичних параметрів; форми та розмірів; акустичних величин; концентрації та складу; іонізаційного випромінювання.

За фізико-хімічними ефектами, що лежать в основі роботи вимірювальних перетворювачів, розрізняють давачі: резистивні; ємнісні (електростатичні); індуктивні та електромагнітні; електричного заряду, напруги або струму; зміни геометричних розмірів, маси або положення; оптичних ефектів; біохімічні.

За видом вихідного сигналу давачі бувають: дискретні; аналогові; цифрові; імпульсні.

За фізичною природою вихідного сигналу давачі бувають: з електричним вихідним сигналом (найпоширеніші); пневматичним вихідним сигналом; оптичним вихідним сигналом.

6.Життєвий цикл АСУ.

Життєвий цикл автоматизованої системи - сукупність взаємопов'язаних процесів створення та зміни стану АС від формування початкових вимог до неї до закінчення експлуатації та утилізації.

Життєвий цикл передбачає наступні стадії і етапи: ISO/IEC 15288

1. Формування концепції АС.

Обстеження об'єкту і обґрунтування необхідності створення АС; формування вимог користувача до АС; оформлення звіту про виконання робіт та заявки на розробку АС; вивчення об'єкта; проведення необхідних науково-дослідних робіт.

Аналіз матеріалів і формування документації: розробка варіантів концепції АС і вибір варіанта концепції АС, що задовольняє вимогам користувачів; оформлення звіту про виконану роботу, розробка та затвердження технічного завдання на створення АС.

2. Розробка.

Ескізне проектування : розробка попередніх проектних рішень щодо систем і її частин; розробка документації на АС і її частини.

Технічне проектування: розробка проектних рішень щодо системи і її частин; розробка документації на АС і її частини; розробка та оформлення документації на поставку комплектуючих виробів; розробка завдань на проектування в суміжних частинах проекту.

3. Реалізація.

Розробка робочої документації на АС і її частини; створення робочого проекту; підготовка інструкцій користувачів.

Програмування: розробка програмних модулів; тестування; коректування бази даних.

4. Експлуатація.

Підготовка до введення в дію: підготовка об'єкта автоматизації, підготовка персоналу, комплектація АС програмними і технічними засобами, інформаційними виробами, будівельно-монтажні роботи, пусканалагоджувальні роботи, проведення попередніх випробувань.

Проведення дослідної експлуатації.

Проведення приймальних випробувань.

5. Супровід АС: супровід програмних засобів. Оперативне обслуговування, адміністрування базами даних.

6. Зняття з експлуатації: припинення використання, демонтаж, архівування системи.

Тема 7. Побудова АСУТП на основі принципів телемеханіки

1. Принципи побудови АСУТП на основі телемеханічних систем
2. Призначення, функції та принципи побудови вузлів (ПУ та КП).
3. Засоби реалізації інформаційного обміну в АСУ.
4. Загальна структура функціональних модулів як мікропроцесорних систем в ПУ та КП телемеханічних АСУ.

1. Принципи побудови АСУТП на основі телемеханічних систем

Багато технологічних процесів використовують обладнання, значне за розмірами, що дає підстави вважати його розподіленими об'єктами, в різних частинах яких значення керованих параметрів можуть відрізнятися або тим більше – в різних частинах необхідно підтримувати різні значення технологічних параметрів (великі приміщення, тунельні печі, скловарні печі з декількома зонами, теплиці тощо). При цьому технологічні процеси часто передбачають стадії виконання, що забезпечуються різними установками, обладнанням, розташованим на різних ділянках, які знаходяться на значній відстані одна від одної. Такі технологічні та технічні об'єкти та процеси є розподіленими.

Таким чином, багато ТП та різного роду технічних об'єктів (керування електричними підстанціями, газо- та нафторозподільними пунктами, світлофорами та дорожнім рухом, залізничними станціями та метрополітемом, освітленням міст та підприємств тощо) реалізується за допомогою великої кількості устаткування, розподіленого по значній території. Керування такими процесами не може бути реалізоване з одного локального контролера, а потребує використання інших підходів, а саме розподілу процесу на окремі ділянки (зони), за керування якими відповідають окремі контроллери.

З іншого боку, використання окремих ізольованих локальних систем керування, причому на основі різних, часто не сумісних між собою, апаратних рішень, по-перше, не дає змогу досягнути ефективного керування процесом через неузгодженість роботи окремих контролерів, а по-друге, не дозволяє додосягнути максимального звільнення операторів від участі в процесі. В таких умовах ефективним підходом до автоматизації є побудова розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП), що реалізують централізоване керування окремими вузлами – системами керування, контроллерами, модулями тощо, які, в свою чергу, керують локальними об'єктами – устаткуванням на відповідних етапах технологічного процесу. При цьому, як було вже сказано, весь технологічний процес розбивається на окремі ділянки (зони відповідальності), якими керують окремі контроллери – вузли системи, які в свою чергу, пов'язані між собою різного роду цифровими лініями зв'язку. Це дає можливість, по-перше, реалізувати узгоджену роботу окремих контролерів, а по-друге, реалізувати віддалене диспетчерське керування.

АСКТП розподіленими об'єктами мають також розподілену структуру відповідно до структури керованого об'єкта та забезпечують централізоване диспетчерське керування з робочого місця оператора.

При цьому розподілені АСКТП можуть реалізовуватися на основі різних архітектурних підходів:

1) промислової автоматики блочно-модульного типу – програмованих логічних контролерів (ПЛК), в тому числі модульного типу, панелей візуалізації та спеціальних модулів (сервоприводів, зважувальних систем тощо), зв'язаних промисловими мережами різних видів;

2) керуючих ЕОМ (робочих станцій оператора), зв'язаних промисловими мережами та інтерфейсами з об'єктами за допомогою стандартизованих моноблочних модулів-перетворювачів сигналів та інтерфейсів, модулів вводу-виводу сигналів тощо;

3) телемеханічних систем та комплексів.

Отже, одним із сучасних підходів до побудови розподілених АСУТП є їх реалізація як телемеханічних систем (ТМС) та комплексів. Розподілені АСУ, що побудовані на принципах ТМС та комплексів, виконують різного роду задачі диспетчеризації, керування віддаленими об'єктами, збору та передачі інформації з/до віддалених об'єктів. Структура сучасних розподілених АСУ ТП передбачає ієрархічні рівні, може бути дворівневою, але частіше є ієрархічною багаторівневою структурою, що збільшує її можливості. В такому випадку розподілені АСУ будуються як багаторівневі розподілені системи, що мають ієрархічну (деревоподібну) вузлову структуру. На рисунку приведено загальну структуру багаторівневої ієрархічної розподіленої АСУ ТП.

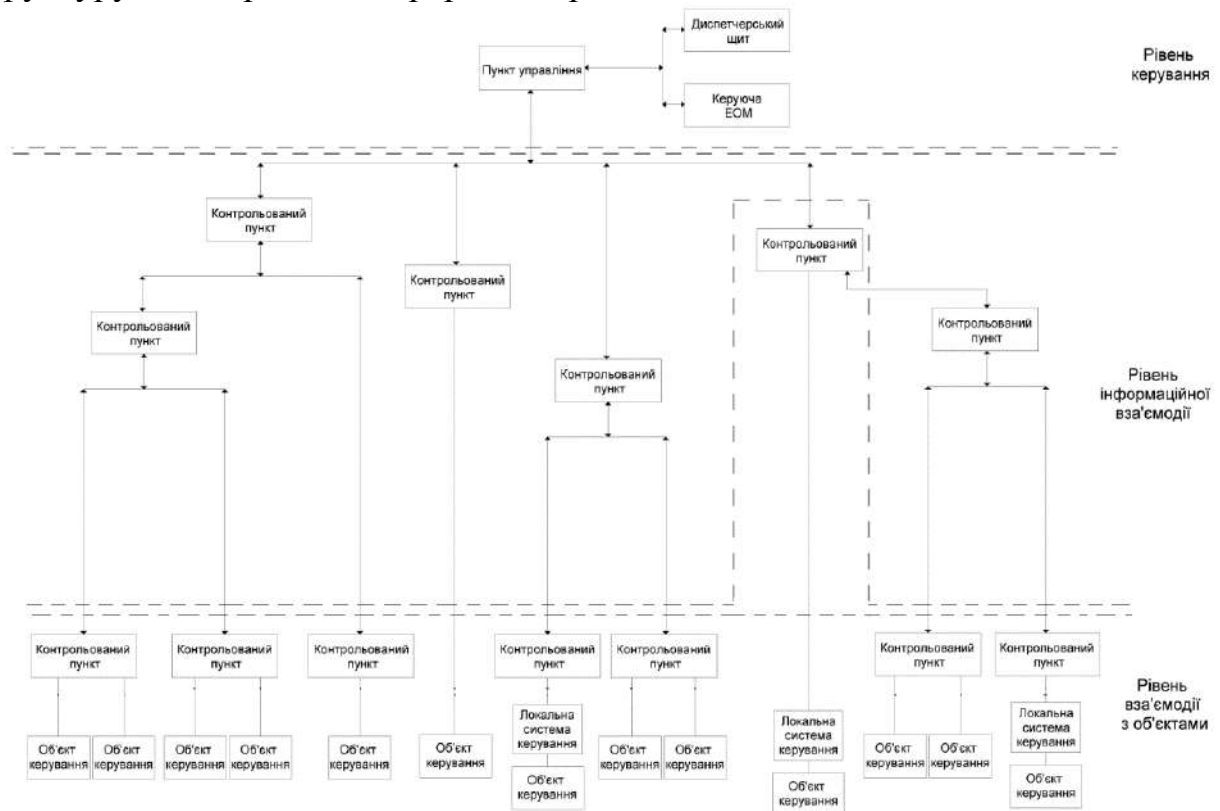


Рисунок 7.1 – Багаторівнева ієрархічна розподілена АСУТП

Як правило, в існуючих телемеханічних системах функції керування виконуються лише на верхньому рівні (в керуючій ЕОМ), до якого зводиться інформація від об'єктів про їх поточний стан. У відповідь з верхнього рівня надсилаються посилки про зміну стану виконавчих механізмів. Такий принцип функціонування є ефективним, коли керуючі дії з верхнього рівня на нижній передаються достатньо рідко – зокрема в задачах віддаленого керування дискретними об'єктами (наприклад, дистанційне ввімкнення/вимкнення вимикачів на електричних підстанціях, насосів, світла, переключення колій на залізничному транспорті тощо). В задачах керування технологічними процесами, де необхідно виконувати регулювання неперервними параметрами (на основі співставлення заданих та поточних значень параметрів), такий підхід являє собою значну проблему, оскільки реалізація регулювання параметрами віддалених об'єктів обумовлює, з однієї сторони, інтенсивний обмін посилками від нижніх рівнів до верхнього та навпаки, а з іншої, призводить до суттєвого зростання інерційності реакції системи (інерційність у формуванні керуючих впливів) на зміну стану об'єкта (оскільки тривалість циклу обміну даними з керуючою ЕОМ може становити суттєвий інтервал часу).

Збільшення ефективності роботи АСУ (оперативність реагування на зміни стану об'єктів) можна досягнути шляхом перенесення деяких функцій керування з верхнього рівня до місцевих контролерів, на які надсилаються сигнали про задані значення, та отримання з них інформації про об'єкти лише з метою видачі довідникової інформації для оператора. При цьому функції регулювання (забезпечення дотримання необхідних значень параметрів) повністю мають виконувати місцеві контролери, що можуть бути виконані як функціональні модулі вузлів АСУ (технологічні модулі взаємодії з об'єктами). Це забезпечить легку можливість побудови та модифікації АСУ різного роду розподіленими промисловими об'єктами.

Отже, існуючі класичні ТМС застосовуються в основному для віддаленого керування дискретними об'єктами або об'єктами, стан яких змінюється повільно. Для швидких процесів, пов'язаних з регулюванням неперервних величин, що характерно для виробничих процесів (керування температурами, тисками, рівнями рідин, дозуванням компонентів тощо) ТМС практично не використовуються. Для цього застосовуються інші архітектурні рішення, такі як системи на основі промислових логічних контролерів (ПЛК) або окремі локальні контролери тощо. Представляється доцільним створити архітектуру таких гібридних АСУ, що суміщають переваги різних існуючих підходів, а саме ТМС та ПЛК. Таким чином, в гібридній архітектурі ТМС представляється доцільним сумістити переваги підходів ПЛК / локального керування для реалізації автоматизованого керування неперервними параметрами, що швидко змінюються, з однієї сторони, а з іншої сторони – можливості ТМС, тобто реалізувати в межах єдиної ТМС керування різними технічними задачами (сумістити технологічні задачі, керування освітленням, обігрівом приміщень, охоронними системами тощо) шляхом встановлення модулів необхідного функціоналу у вузли єдиної ТМС.

2. Призначення, функції та принципи побудови вузлів (ПУ та КП).

В АСУ у вигляді ТМС в ролі вузлів виступають так звані «пункти управління» (ПУ) та «контрольовані пункти» (КП). Верхній рівень АСУ утворений пунктом управління та автоматизованим робочим місцем оператора (та, за необхідності, диспетчерським щитом), а нижні рівні утворені мережею контрольованих пунктів, що виконують функції передачі даних від одного вузла до іншого (ретрансляції) та/або взаємодіють з об'єктами керування.

В сучасній ієрархічній ТМС можна виділити 3 рівні:

1) Рівень керування (верхній). На даному рівні виконується загальне керування технологічними процесами (керування стадіями процесів, активація/деактивація тих чи інших ділянок чи одиниць обладнання цеху, визначення заданих значень керованих параметрів тощо), що реалізується шляхом формування інформаційних посилок, їх видачі на підлеглі вузли, та отримання посилок-відповідей з підлеглих вузлів. Також на рівні керуючої ЕОМ виконуються задачі виведення алфавітно-цифрової та графічної інформації про стан об'єктів, архівація даних, інша обробка інформації.

2) Рівень реалізації інформаційної взаємодії. На даному рівні забезпечується передачі інформаційних посилок (пакетів) від вузлів верхніх рівнів до вузлів нижчих рівнів та у зворотному напрямку. Передача може виконуватися широкосповіщувальним (широкомовним) чином – всі підлеглі вузли отримують розмножену інформацію з верхнього вузла, поки пакет не потрапить у потрібний вузол.

3) Рівень взаємодії з об'єктами. На даному рівні відбувається видача керуючих впливів безпосередньо на виконавчі механізми об'єктів керування (в основному фізичними рівнями по окремим виділеним сигнальним провідникам або, в окремих випадках, по спеціальних цифрових інтерфейсах), а також збір (зняття) інформації з датчиків та вимірювальних систем. Також на даному рівні є можливим підключення локальних САК, що мають інтерфейси інформаційної взаємодії (наприклад RS-232 / UART) для їх інтеграції в централізовану АСУ.

При цьому сучасним підходом до побудови вузлів (ПУ та КП) є використання набору уніфікованих функціональних блоків або модулів. Таким чином, кожен КП (а також ПУ) має модульну структуру, утворену функціональними модулями, які з'єднані внутрішньою шиною даних. Функціональність вузла забезпечується шляхом комбінації функціональних модулів потрібних типів, що визначається призначенням (функціональністю вузла). Модулі беруться в такій кількості, яка визначається необхідністю реалізувати потрібну кількість каналів введення чи виведення даних (каналів керування). В ПУ та КП, що виступають в ролі проміжних вузлів ретрансляції даних, застосовуються відповідні модулі зв'язку. В КП, які безпосередньо взаємодіють з технічними об'єктами, застосовують модулі взаємодії з об'єктами (введення/виведення аналогової та/або дискретної інформації, спраження по спеціальним інтерфейсам с пристроями, датчиками тощо), а також один або декілька модулів зв'язку. Таким чином, будь-який КП може виконувати або лише задачі передачі інформації до/з підлеглих вузлів

(ретрансляції даних), або лише задачі керування об'єктами, або суміщати в собі обидві задачі.

Контрольований пункт, тобто вузол АСУ, виконаний як модульний комплекс програмно-технічних засобів, призначений для роботи на технологічних об'єктах, вимірювальних вузлах та інших об'єктах автоматизації. Модульний принцип побудови дозволяє створювати на базі вузла систему керування об'єктом у відповідності з поставленим завданням. Дане рішення дозволяє підвищити ефективність керування, оскільки для кожного технологічного об'єкта можливо індивідуально обрати функціонал відповідного вузла керування, встановивши відповідні функціональні модулі. Загальна структура вузла ТМС з модульною організацією вузлів приведена на рисунку 7.2.

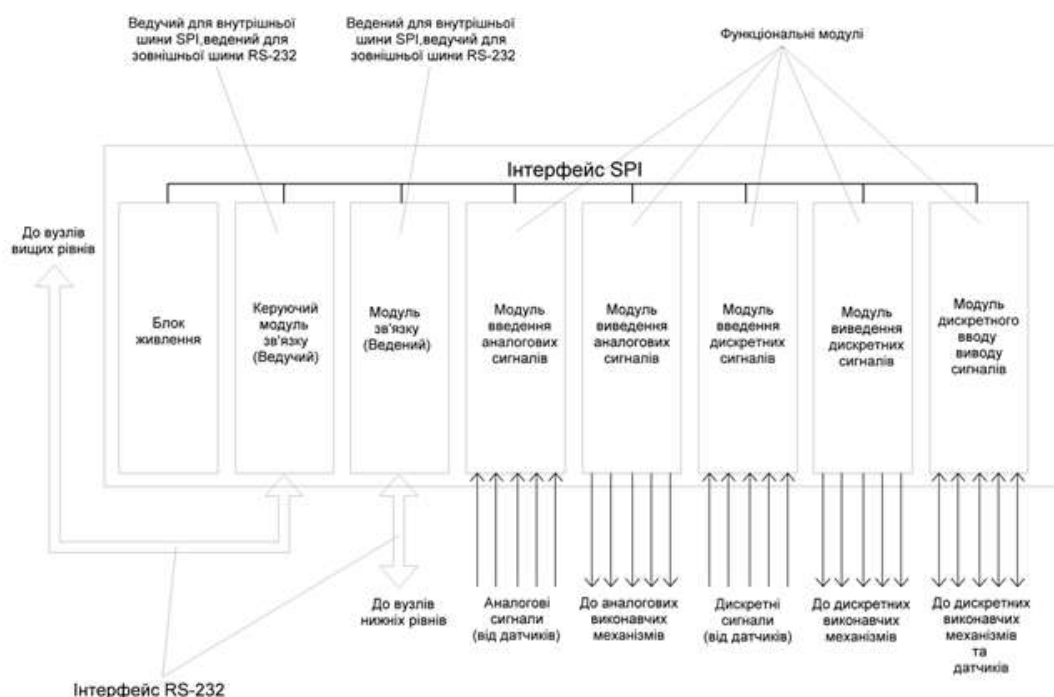


Рисунок 7.2 – Модульна структура вузла ТМС

Модульність кожного вузла забезпечується їх шинною організацією. В якості поширених шин даних можуть виступати шини SPI, I2C або RS-485 тощо. Шинна організація вузлів дозволяє легко нарощувати їх кількість та забезпечувати додавання вузлів АСУ шляхом нарощення кількості модулів зв'язку у вузлі, до якого треба підключити нові вузли. Таким чином, модифікація такої АСУ (додавання вузлів), що має модульну організацію вузлів, є досить простою і виконується по місцю розташування найближчого територіально вузла, шляхом зміни кількості його модулів зв'язку.

Обмін між контрольованими пунктами може відбуватися або за допомогою шини (дротової або безпроводного зв'язку), або реалізовуватися через виділені лінії зв'язку. Наприклад, одним з поширених підходів до реалізації виділених провідних ліній зв'язку є їх реалізація на основі інтерфейсу

RS-232 (рис. 7.3), у тому числі за допомогою модемного зв'язку на значні відстані. В такому випадку кожен підлеглий вузол, що стоїть нижче за ієрархією, зв'язується з вузлом, вищим за ієрархією, за принципом «точка до точки», а тому верхній вузол вимагає застосування окремих портів для кожного підключеного вузла нижнього рівня. У випадку використання модулів зв'язку (МЗ) з одним портом, це вимагає встановлення такої кількості модулів зв'язку, яка визначається кількістю підключених підлеглих КП. Це суттєво спрощує апаратну та алгоритмічну реалізацію кожного МЗ. Також це дозволяє використати фізично один МЗ як в ролі підлеглого для зв'язку з нижніми вузлами, так і в ролі головного для зв'язку з вузлом верхнього рівня. При цьому лише міняється місцями роль інтерфейсів (за одним модуль є ведучим, за іншим – веденим).

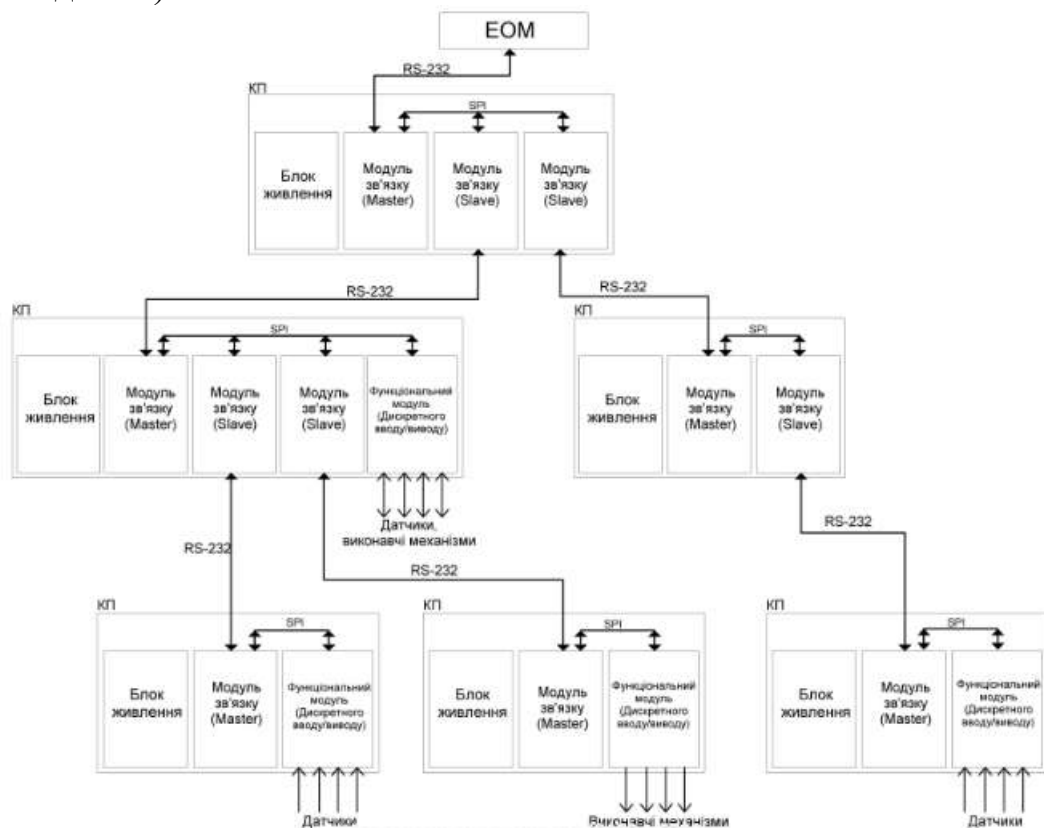


Рисунок 7.3 – Структура класичної ТМС з виділеними лініями зв'язку між вузлами системи

3. Засоби реалізації інформаційного обміну в АСУ.

Для зв'язку параметрів, представлених в аналоговому/дискретному і цифровому вигляді, використовуються пристрої зв'язку з об'єктами (ПЗО). ПЗО є невід'ємною частиною будь-якої системи управління, зокрема, при використанні цифрових пристроїв (промислові комп'ютери, обчислювальні мережі і т.д.).

Теоретично місце ПЗО у системі управління відображається на схемі (рис.7.4).

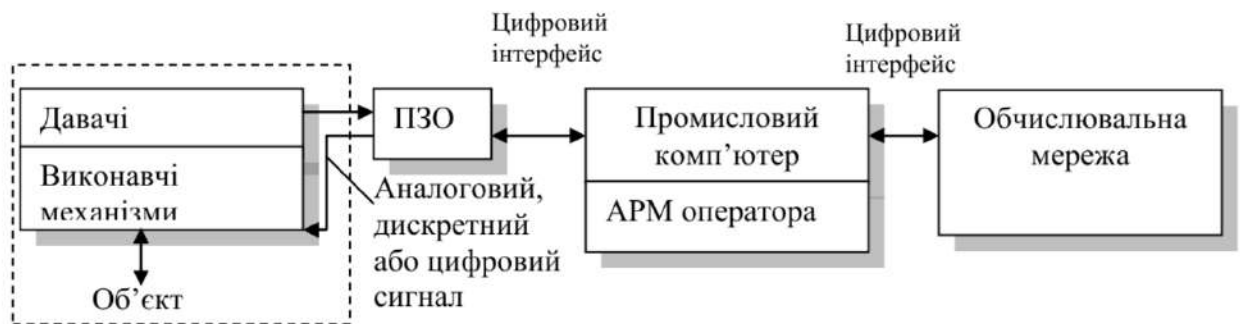


Рисунок 7.4 – ПЗО в структурі автоматизованої системи управління.

Давачі, які встановлюються на об'єкті, призначені для первинного перетворення параметрів у вихідний сигнал для передавання в ПЗО. Виконавчі механізми приймають керуючі сигнали, що пройшли через ПЗО, для управляючої дії на процес. Зв'язок між давачами, виконавчими механізмами і ПЗО може бути аналоговим, дискретним або цифровим.

Промисловий комп'ютер (PC) в системі приймає цифрову інформацію від ПЗО і виробляє управляючі сигнали. Для зв'язку між ним і ПЗО використовується будь-який з цифрових інтерфейсів (ЦІ), до яких належать RS-232, RS-422, RS-485 і ін. При виборі модулів ПЗО бажано використовувати інтерфейс, на основі якого побудована комп'ютерна мережа підприємства, оскільки інакше можуть знадобитися модулі перетворення інтерфейсів.

У реальних системах модулі ПЗО можуть не бути присутніми у вигляді самостійного пристрою, а входити до складу давачів або промислових комп'ютерів. Наприклад, давачі, які здійснюють подвійне (потрійне і т.д.) перетворення вимірюваної величини і на виході формують цифровий сигнал.

ПЗО можуть бути виконані у вигляді АЦП/ЦАП-плати, що вставляється в ISA-слот комп'ютера. У цьому випадку аналогові сигнали можуть бути введені прямо в комп'ютер, де і перетворюються в цифровий код.

Модулі ПЗО – це конструктивно закінчені пристрої, виконані у вигляді модулів, які встановлюються в спеціалізовані плати, що мають клемні з'єднувачі для підведення зовнішніх кіл (такі плати називають монтажними панелями), або на стандартну DIN-рейку. Модулі ПЗО поміщені в пластмасовий корпус і оснащені відповідно або виводами для кріплення на монтажних панелях, або клемними з'єднувачами з гвинтовою фіксацією для кріплення входних і вихідних ланцюгів.

За напрямом проходження даних через ПЗО поділяються на три типи:

- 1) пристрої введення, що забезпечують передавання сигналу з давачів в пристрій обробки і виведення сигналів для управління;
- 2) пристрої виведення, призначені для формування сигналів для виконавчих механізмів;
- 3) двонапрямлені, що забезпечують введення і виведення сигналів.

За призначенням і конструктивним виконанням ПЗО класифікують наступним чином:

1. Пристрої перетворення типу «а/д сигнал $\leftrightarrow$ ЦІ», тобто перетворюючі аналогових і дискретних сигналів у цифрову форму для передавання по цифровому інтерфейсу (ЦІ) і навпаки. Усередині цього типу можна виділити класи:

1.1 Модулі аналогового/дискретного введення/виводу, виконані в одному конструктиві.

1.2 Пристрої типу «а/д $\leftrightarrow$ модуль $\leftrightarrow$ м.п. $\leftrightarrow$ ЦІ» (м.п. – монтажна плата).

1.3 Пристрої типу «а/д $\leftrightarrow$ модуль $\leftrightarrow$ м.п. $\leftrightarrow$ контролер $\leftrightarrow$ ЦІ».

2. Допоміжні пристрої.

2.1 Пристрої типу «ЦІ $\leftrightarrow$ ЦІ», що служать для перетворення інтерфейсів або для організації нових сегментів вимірювальної мережі (комунікаційні модулі).

2.2 Модулі нормалізації і гальванічної розв'язки («а/д $\leftrightarrow$ модуль $\leftrightarrow$ а/д»).

3. Плати для введення/виведення даних в РС:

3.1 Формувач інтерфейсів («ЦІ $\leftrightarrow$ плата $\leftrightarrow$ РС»).

3.2 Плати АЦП/ЦАП («а/д $\leftrightarrow$ плата $\leftrightarrow$ РС»).

Деякі ПЗО використовують монтажні плати для встановлення модулів введення/виводу. На деяких з цих плат встановлені АЦП/ЦАП-перетворювачі і формувачі ЦІ.

Пристрої першого виду є основними ПЗО, що використовуються в автоматизації і тому широко представлені виробниками. Ці пристрої призначені для реалізації взаємодії між обчислювальною системою і давачами неперервних і дискретних параметрів, а також для видачі керуючих дій на виконавчі механізми.

Модулі забезпечують виконання наступних функцій:

- прийом і дешифрування команд по цифровому каналу;
- введення і нормалізацію аналогових сигналів (струм і напруга);
- опитування стану дискретних входів;
- фільтрацію аналогових і дискретних входних сигналів;
- виведення аналогових (струм і напруга) і дискретних сигналів;
- аналого-цифрове (для модулів аналогового введення) перетворення;
- цифро-аналогове (для модулів аналогового виводу) перетворення;
- перетворення шкали значень безперервних параметрів в заздалегідь задані одиниці вимірювання;
- формування і передавання на адресу основної обчислювальної системи інформації, що містить результат вимірювання або стан дискретних входів.

Поряд з засобами підтримки власної розробки застосовуються стандартні механізми обміну, такі як OPC (OLE for Process Control). OPC – це стандарт взаємодії між програмними компонентами системи збору даних і управління, оснований на об'єктній моделі COM/DCOM від фірми Microsoft. OPC є найбільш узагальненим засобом організації взаємодії між різними джерелами і одержувачами даних, такими як пристрої, бази даних і системи візуалізації інформації про контрольований об'єкт автоматизації. Стандарт OLE for Process

Control загальноприйнятий і підтримується всіма провідними фірмами-розробниками SCADA-систем і виробниками обладнання.

OPC-взаємодія основана на клієнт-серверній схемі (рис.1). OPC забезпечує інтерфейс між програмами-клієнтами і серверами за допомогою стандартного механізму OLE, що реалізує зв'язок між джерелами даних (серверами) і отримувачами даних (клієнтами).

OPC-клієнт (наприклад, SCADA-система), викликаючи певні функції OPC-сервера, підписується на отримання даних процесу з певною частотою. В свою чергу, OPC-сервер, опитавши фізичний пристрій, викликає відомі функції клієнта, повідомляючи його про отримання даних і надаючи ці дані.

Таким чином, OPC-сервер створює свого роду абстракцію апаратури, дозволяючи OPC-клієнту записувати і зчитувати дані з пристрою. Пристрій вводу-виводу, для якого є OPC-сервер, може використовуватись з будь-якою сучасною SCADA-системою.

4. Загальна структура функціональних модулів як мікропроцесорних систем в ПУ та КП телемеханічних АСУ.

При автоматизації промислових об'єктів, як правило, для окремих технологічних процесів застосовуються окремі не зв'язані системи керування, наприклад, окрема система керування для основного технологічного процесу, окрема система для обігріву приміщень (або керування мікрокліматом), окрема система для освітлення тощо. Однією з поширених архітектурних реалізацій АСУТП є їх побудова за принципом модульних ТМС або комплексів. В таких системах в кожному вузлі реалізується необхідний функціонал, який визначається складом задач, які необхідно вирішувати по місцю встановлення даного вузла. Це виконується шляхом встановлення необхідного набору функціональних модулів. Тобто в єдиній системі можна сумістити різні функції – керування технологічним процесом, освітленням приміщень, обігрівом, керуванням безпекою, обліку ресурсів тощо. При цьому керуючі задачі будуть виконуватися в різних функціональних модулях, на відміну від одного процесорного модуля, як у рішеннях на основі ПЛК. Також фірма-розробник архітектури ТМС може досить легко створювати різні модулі з особливим функціоналом – усереднення значень, пошуку мінімальних/максимальних значень, підрахунку сумарних значень відповідно до різних функцій ТМС.

Організація каналів зв'язку, яка використовується в АСУ, реалізується з урахуванням можливості поетапної заміни діючих систем телемеханіки. Для передачі інформації можуть використовуватися вузькосмугові (180 Гц) частотні канали або широкосмуговий (займає весь частотний спектр). Це дозволяє вирішити проблему спільної роботи в одній лінії зв'язку старих систем телемеханіки і нової системи. Максимальна кількість частотних каналів для лінії зв'язку ТС і для лінії зв'язку ТУ становить до 19 (16 для ВЧ каналу).

Максимальна швидкість передачі інформації в кожному вузькополосному каналі - 100 бод, у широкосмуговому - 2400 бод. Апаратура зв'язку містить цифрові сигнальні процесори, що забезпечують цифрову обробку сигналів в

лінії зв'язку. Це забезпечує можливість реалізації різних протоколів зв'язку, в тому числі використовуваних в стандартних модемах, шляхом зміни програмного забезпечення апаратури зв'язку.

Протоколи і формати передачі даних, що застосовуються в АСУ, рекомендовані Міжнародним електротехнічним комітетом (МЕК) до використання в системах телемеханіки. Формат передачі даних заснований на FT1.2 і забезпечує ймовірність невиявленої помилки для команди ТУ не більше 10^{-18} , для ТС - не більше 10^{-10} . Підвищення надійності передачі даних дозволяє відмовитися від циклічної передачі телесигналізації, а значить, звільнити канал зв'язку для передачі додаткової інформації (телевимірювання, витрата електроенергії, діагностика обладнання тощо).

Розподіл контрольованих пунктів по частотним каналах здійснюється користувачем, при цьому до кожного частотного каналу може бути підключено від 1 до 16 КП. Диспетчерський пункт (ДП) веде циклічне опитування КП.

Апаратура АСУ підтримує спільну роботу з різними системами телемеханіки. Установка необхідних протоколів зв'язку, форматів передачі даних здійснюється програмно і не вимагає зміни апаратного забезпечення.

Апаратура КП уніфікована і включає модуль зв'язку (ведучий), один або кілька функціональних (ведених) модулів ТУ-ТС, блок живлення. Для передачі інформації між модулем зв'язку і функціональними модулями, використовується 3-провідна магістраль на базі інтерфейсу RS-485.

Режими і параметри роботи модулів зберігаються в незалежній пам'яті. Для настройки модулів використовується виносний пульт.

Модуль зв'язку забезпечує зв'язок з диспетчерським пунктом і функціональними модулями, встановленими на КП. Модуль містить мікроконтролер, який визначає логіку роботи пристрою, і спеціалізований модем на базі цифрового сигнального процесора, що забезпечує зв'язок з ДП. Для передачі і прийому інформації використовується 4-провідна лінія зв'язку.

Модуль ТУ-ТС виконаний на базі мікроконтролера, дозволяє підключити як об'єкти ТС, так і об'єкти ТУ.

Повідомлення про зміну положення датчиків заноситься в пам'ять модуля і потім передається на провідний модуль. Реалізовано автоматичне тестування вхідних ланцюгів. При виявленні несправності передається повідомлення в провідний модуль із зазначенням номера несправного входу.

Вибір алгоритму роботи модуля для підтримки одного із зазначених типів схем підключення об'єктів ТУ здійснюється програмно. Реалізовано автоматичне тестування вихідних ланцюгів. При виявленні несправності передається повідомлення в провідний модуль із зазначенням номера несправного виходу.

Модуль телевимірювань забезпечує підключення 8 датчиків струму (напруги). Реалізовано вимірювання «на вимогу», реєстрація виходу вимірюваного параметра за встановлені межі, фіксація струмів короткого замикання. Похибка вимірювань в межах 1,5%.

Апаратура диспетчерського пункту включає адаптер зв'язку диспетчерського пункту, щит телесигналізації на базі малогабаритних панелей індикації, персональний комп'ютер. Адаптер зв'язку забезпечує реалізацію протоколів зв'язку телемеханіки. Положення об'єктів телесигналізації відображається на малогабаритному щиті і екрані дисплея. Для подачі команд телеуправління використовується персональний комп'ютер.

Адаптер зв'язку забезпечує прийом телесигналізації і передачу команд телеуправління в канали зв'язку телемеханіки, передачу телесигналізації і прийом команд телеуправління від персонального комп'ютера. До складу адаптера зв'язку входить спеціалізований модем на базі цифрового сигнального процесора, мікроконтролер, блок живлення.

Малогабаритна панель індикації призначена для індикації стану об'єктів телесигналізації на диспетчерських пунктах. Індикація здійснюється світлодіодами на тлі мнемонічною схеми ділянки.

Тема 8. Автоматизовані системи управління в енергетиці

1. Характеристика АСУ в енергетичній галузі.
2. Інформаційні системи рівня об'єднаної енергосистеми та НЕК «Укренерго».
3. Системи контролю якості електричної енергії.
4. Автоматизована система обліку електричної енергії (комерційний та технічний облік).

1. Характеристика АСУ в енергетичній галузі.

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. До технологічних даних можливо віднести:

- поточні значення електричних величин, що характеризують основну трифазну мережу змінного струму - напруг, струмів, потужностей, частоти, а також показники якості електричної енергії;
- поточні значення величин, що характеризують допоміжні мережі об'єкту;
- електричні параметри мережі власних потреб і мережі постійного струму, параметри мережі повітряприготування;
- поточні значення теплотехнічних та інших величин на електростанціях, що характеризують процес генерації електроенергії - тиск та температуру газу, пари, води або інших теплоносіїв;
- осцилограми перехідних процесів - наприклад, коротких замикань у мережі;
- положення електричних комутаційних апаратів, стану пристроїв захисту та автоматики, клапанів, вентилів;
- параметри, що характеризують кліматичні обставини на об'єкті - температуру й тиск повітря, швидкість вітру;
- діагностичні параметри, що характеризують стан устаткування - наприклад, кількість відключень вимикачів, тангенс кута діелектричних втрат в ізоляції.

Пристрій верхнього рівня, що забезпечує збір даних з ПС, називається пунктом управління (ПУ) або центральною приймально- передавальною станцією (ЦППС), пристрій на підстанції, що збирає дані від датчиків та вимірювальних перетворювачів і передає їх до ПУ — контрольований пункт (КП). Канали зв'язку між КП і ПУ можуть бути дротяними (наприклад, на базі телефонної мережі) або бездротяними (радіоканал, GSM, GPRS, супутникові канали). Типи сигналів:

- ТС – телесигнал (двійковий типу «ТАК/НІ»);

- ТВ, ТВП – телевимірювання (поточне), кодують 8- або 16-розрядним цілим числом;
- ТВІ – телевимірювання інтегральне (приймає імпульси від лічильників, кожен імпульс відповідає визначеній кількості кВт·годин електроенергії);
- ТУ – телеуправління виконавчими механізмами («Вмикнути» / «Вимкнути»);
- ТР – телерегулювання (плавне або багатопозиційне керування).

Способи обміну між ПК та КП: опитування, циклічне передавання та спорадичне (за зміною значення сигналу) передавання.

Способи кодування й захисту даних визначає телемеханічний протокол. Раніше кожен розробник комплексів телемеханіки розробляв свій власний протокол зв'язку. Приклади таких, досить розповсюджених систем:

- УТС-8, УТК-1, ВРТФ-3 — найбільш примітивні системи з жорстко визначеною кількістю сигналів;
- КОМПАС, ТМ-512. ТМ-120, ТМ-320, Граніт, ТМ-800В — більш досконалі модульні пристрої з 8-розрядними АЦП;
- МКТ-2, МКТ-3, ТМ-800А – теж саме, використовують на ПС 330 кВ для роботи в циклічному режимі;
- Корунд-М/КА-96, Спрут/КОТ — сучасні вітчизняні системи з підтримкою МЕК-870-5-101 та 12-розрядними АЦП.

Вимірювання всіх цих величин виконують за допомогою вимірювальних перетворювачів. Сучасні перетворювачі є цифровими, вони вимірюють вхідний сигнал і перетворюють його у цифрову форму за допомогою власних аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

2. Інформаційні системи рівня об'єднаної енергосистеми та НЕК «Укренерго».

Завдання – 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.

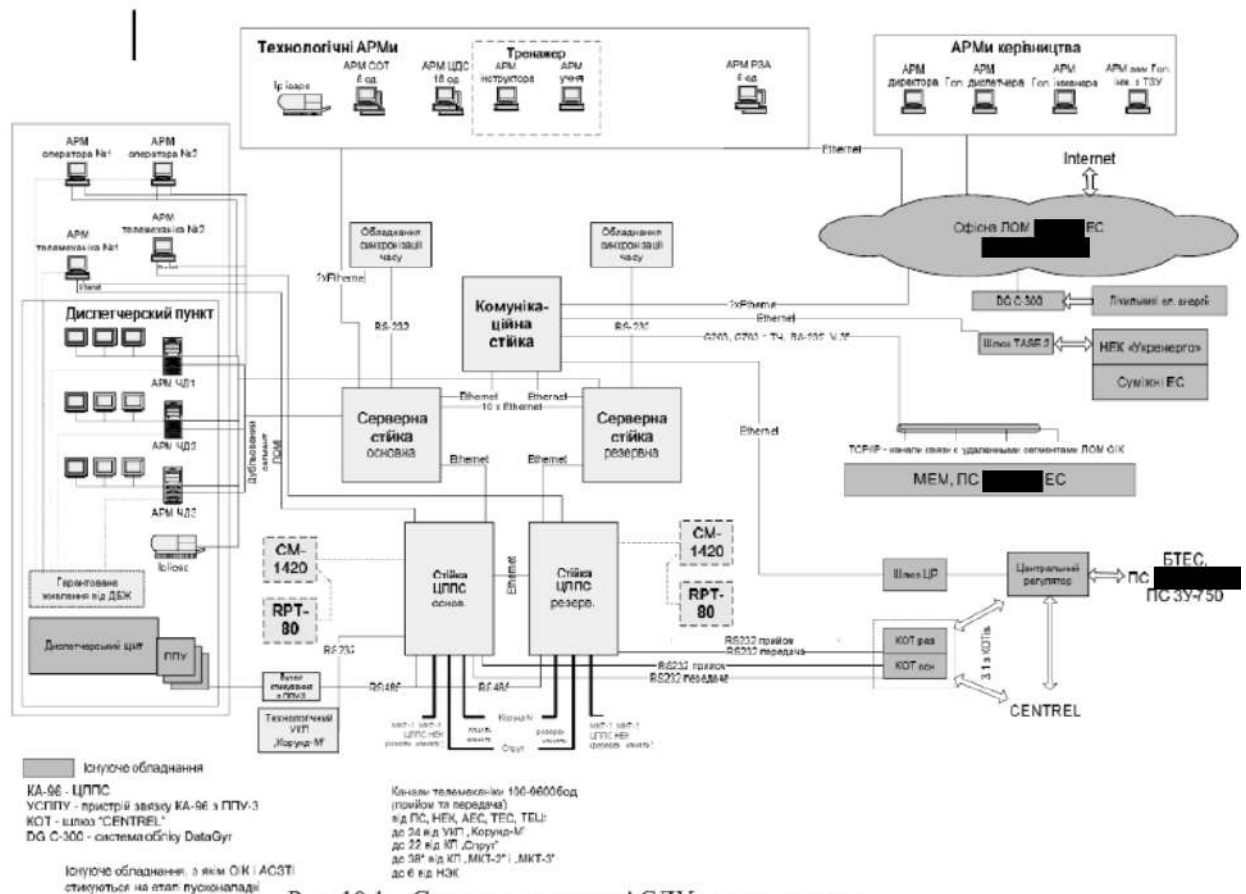


Рисунок 8.1 – Структурна схема АСДУ енергосистеми

3. Системи контролю якості електричної енергії.

Законом України «Про електроенергетику» визначено, що споживачі електричної енергії мають право на:

- отримання інформації щодо якості електричної енергії, цін, порядку оплати, умов та режимів її споживання;
- отримання електричної енергії, якісні характеристики якої визначені державними стандартами.

Електроустановки споживачів мають бути забезпечені необхідними розрахунковими засобами обліку електричної енергії для розрахунків за спожиту електричну енергію, технічними засобами контролю і управління споживанням електричної енергії та величини потужності, а також (за бажанням споживача) засобами вимірювальної техніки для контролю якості електричної енергії.

Споживач електричної енергії зобов'язаний підтримувати параметри якості електричної енергії у своїх мережах відповідно до параметрів, визначених державними стандартами та умовами договору; здійснювати компенсацію перетікань реактивної електричної енергії з метою енергозбереження та дотримання показників якості електричної енергії.

Електропередавальна організація має право вимагати від споживача дотримання показників якості електричної енергії на межі балансового розподілу електромереж відповідно до умов договору.

Електропередавальна організація зобов'язана здійснювати контроль за показниками якості та вживати заходів щодо поліпшення якості електричної енергії у своїх мережах.

Вимоги до якості електричної енергії в електричних мережах загального призначення змінного трифазного і однофазного струму частотою 50 Гц регламентує ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения».

Стандарт встановлює основні ПЯЕ, що характеризують якість електроенергії та додаткові ПЯЕ, що є формами запису основних показників, які використовуються в іншій нормативно-технічній документації. До основних показників якості електричної енергії (додаток А) відносяться:

- відхилення напруги dU ;
- розмах зміни напруги dU ;
- доза коливань напруги Y ;
- коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги K_{ncU} ;
- коефіцієнт n -ї гармонічної складової K_{UHn} ;
- коефіцієнт зворотної послідовності напруги K_{0U} ;
- відхилення частоти Df ;
- тривалість провалу напруги Dt_n ;
- імпульсна напруга U_{imp} ;

Стандарт встановлює, що у нормальному режимі роботи електромережі значення ПЯЕ повинні не виходити за межі максимальних значень. При цьому протягом не менше 95% часу кожної доби значення ПЯЕ повинні не виходити за межі нормальних значень.

Щодо точності вимірювань, то стандартом встановлені граничні значення абсолютних похибок для кожного із ПЯЕ, зокрема:

- 0,5% - для відхилень напруги і коефіцієнта несинусоїдальності;
- 0,2% - для коефіцієнтів гармонічної складової, зворотної і нульової послідовностей напруги;
- 0,02 Гц - для відхилення частоти.

Споживач зобов'язаний здійснювати відповідно до договору з електропостачальною організацією безперервний, періодичний або епізодичний контроль за показниками якості електричної енергії, на межі балансової належності та в інших точках електромереж відповідно до вимог стандарту. Поряд з цим споживач має вживати заходів щодо покращення якості електроенергії у своїх мережах.

Такі ж зобов'язання покладаються на електропередавальну та електропостачальну організації. У разі відпуску споживачеві електричної енергії з показниками якості, що виходять за межі допустимих значень, встановлених стандартом і вказаних у договорі на користування електроенергією, електропостачальна організація сплачує споживачеві штраф.

Поява проблем з якістю електроенергії може призвести до наступних наслідків:

- Збільшення втрат енергії в мережах;

- Перегрів електродвигунів та електричних машин, що прискорює старіння ізоляції та підвищує ймовірність аварії в результаті однофазних коротких замикань та їх переходу в багатofазні замикання;

- Збільшення споживання електроенергії та необхідної потужності обладнання;

- Відмови і помилкові спрацьовування автоматики і пристроїв релейного захисту;

- Відмови електроніки керування, обчислювальної техніки;

- Поява перешкод теле- і радіоустаткування, порушення працездатності рентгенівського обладнання;

- Некоректна робота електролічильників.

У зв'язку з цим в Україні за останній час з'явився ряд нормативних документів, які описують вимоги до аналізу якості електричної енергії.

На ринку є значна кількість аналізаторів якості електроенергії як для трифазних, так і для однофазних мереж. В найпростіших випадках це портативні прилади для локального контролю.

4. Автоматизована система обліку електричної енергії (комерційний та технічний облік).

Сучасні автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) доцільно проектувати й впроваджувати як інтегровані системи обліку енергоресурсів (включаючи газ, тепло тощо). Основним нормативним документом є «Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку».

Структури АСКОЕ призначені для вирішення таких завдань:

- комплексний автоматизований комерційний і технічний облік електроенергії й енергоносіїв на підприємстві, його інфраструктурах за чинними тарифними системами за всіма параметрами енергообліку (для електроенергії - за споживанням енергії та потужності) з метою забезпечення

зовнішніх і внутрішніх розрахунків за енергоресурси й забезпечення їх раціональних витрат;

- контроль енергоспоживання за всіма енергоносіями, місцями і структурами обліку в заданих часових інтервалах (3-10, 30 хвилин, доба, декада, місяць, квартал, рік) щодо заданих лімітів, режимних і технологічних обмежень потужності, витрат, тиску й температури з метою економії енергоресурсів і забезпечення енергопостачання;

- фіксація відхилень контрольованих величин енергообліку та їхня оцінка в абсолютних і відносних одиницях з метою полегшення аналізу енергоспоживання;

- сигналізація відхилень контрольованих величин понад допустимий діапазон значень з метою прийняття оперативних рішень;

- прогнозування (коротко-, середньо- і довгострокове) значень величин енергообліку з метою планування енергоспоживання;

- автоматичне керування енергоспоживанням на основі заданих критеріїв і пріоритетних схем увімкнення/вимкнення споживачів-регуляторів з метою економії ручної праці й забезпечення якості керування;

- забезпечення внутрішнього госпрозрахунку за енергоресурси між цехами й підрозділами заводу з метою їх економії та раціональних витрат на робочих місцях;

- точний розрахунок із субабонентами підприємства за енергоспоживання з метою справедливого розподілу енерговитрат.

Усю сукупність функцій систем середнього рівня й ПК верхнього рівня АСКОЕ можна класифікувати за наступними групами функцій:

- формування нормативно-довідкової бази енергообліку підприємства за кожною точкою в структурі обліку, тарифах, зонах, змінах, апаратних і програмних засобах АСКОЕ;

- збір в автоматичному (за заданими періодами часу) і ручному (за запитом оператора) режимах конкретних штатних параметрів кожної системи децентралізованої АСКОЕ за кожною точкою й/або структурі обліку;

- накопичення даних енергообліку в базі даних АСКОЕ на ПК по кожній точці обліку з заданою тимчасовою дискретністю на необхідну ретроспективу;

- оброблення накопичених значень енергообліку відповідно до чинних тарифів, схеми енергопостачання й структури обліку підприємства;

- відображення вимірювальної й розрахункової інформації енергообліку у вигляді комплексу графіків, таблиць і відомостей на моніторі ПК;

- документування вимірювальної й розрахункової інформації енергообліку у вигляді графіків, таблиць і відомостей на принтері ПК;

- сигнали щодо позаштатні ситуації;

- прогнозування навантаження;

- автодіагностика АСКОЕ з аналізом надходження інформації від первинних перетворювачів нижнього рівня АСКОЕ, перебоїв і відмов систем і каналів зв'язку.

Системи контролю й обліку енергоресурсів (АСКОЕ) у загальному випадку містять три рівні:

- нижній рівень - вимірювальні перетворювачі – ВП (давачі, лічильники) з телеметричними виходами або цифровими інтерфейсами, що здійснюють безупинно або з мінімальним інтервалом усереднення вимір параметрів енергообліку споживачів (витрати, потужність, тиск, температуру, кількість енергоносіїв, кількість теплоти з енергоносієм) у місцях обліку (фідер, труба); облік електроенергії виконує лічильник;

- середній рівень — контролери (спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмовані перетворювачі) з програмним забезпеченням з енергообліку, що здійснюють у заданому циклі інтервалу усереднення цілодобовий збір вимірювальних даних з територіально розподілених ВП, накопичення, обробку й передачу цих даних на верхній рівень; для обліку електроенергії на середньому рівні використовують прилади обліку, для технічного обліку використовують також КП телемеханіки з входами телевимірів інтегральних (ТВІ), до яких підключають телеметричні (імпульсні) виходи лічильників;

- верхній рівень - персональний комп'ютер (ПК) або комп'ютерна мережа зі спеціалізованим програмним забезпеченням, що здійснює збір інформації з контролера (або групи контролерів) середнього рівня, підсумкову обробку цієї інформації як у місцях обліку, так і в їхніх групах - у підрозділах і об'єктах підприємства, відображення й документування даних обліку у вигляді, зручному для аналізу й прийняття рішень (керування) оперативним персоналом служби головного енергетика й керівництвом підприємства.

Усі вимірювальні (а також обчислювальні) засоби й лінії зв'язку, які мають точнісні характеристики та впливають на точність обліку за наданою точкою обліку, називають вимірювальним каналом. Як правило, до каналу входять усі вимірювальні перетворювачі та канали зв'язку, в яких інформація передається у аналоговому вигляді, а також обчислювальні засоби, які впливають на точність передавання облікових даних (наприклад, при формуванні пакетів даних для передавання на інший рівень може бути змінена форма подання числа). У випадку комерційного обліку електроенергії кожна точка обліку має 2 канали, які відповідають наявності основного та дублюючого лічильника; похибка вимірювального каналу має апаратну та обчислювальну складові. При правильно обраних обчислювальних засобах, програмному забезпеченні, алгоритмах обчислювань та протоколах передавання даних програмна складова похибки обліку набагато менш за апаратною. При визначенні похибки обліку враховують точність вимірювань не тільки безпосередньо облікових величин, а також і точність прив'язки до часу, яку можуть виконувати не тільки цифровий перетворювач (лічильник), а окремий контролер (прилад обліку).

Наприклад, для обліку електричної енергії з використанням приладу обліку «ІТЕК-210» під вимірювальним каналом (без урахування програмної компоненти) мається на увазі сукупність трансформаторів струму та напруги,

їхні вторинні ланцюги, електролічильник з телеметричним (імпульсним) виходом і двопровідна лінія зв'язку до приладу обліку.

Нижній рівень систем обліку підключається до верхнього за допомогою ланцюгів імпульсних виходів або послідовними каналами зв'язку (RS-232, RS-485, струмова петля).

Середній рівень АСКОЕ пов'язаний із верхнім рівнем каналом зв'язку, де можуть використовуватися фізичні провідні лінії зв'язку, виділені або комутовані телефонні канали, радіоканали, в тому числі супутникові та стільникові. До змісту поняття каналу зв'язку входять не тільки лінії зв'язку, а й устаткування зв'язку, що обслуговує ці лінії, іноді сукупність каналів зв'язку називають середовищем зв'язку. Передача даних по цих каналах здійснюється, як правило, з використанням стандартних інтерфейсів (інтерфейси типу RS-232, RS-485, ІРПС і т.п.) і відповідно стандартних (наприклад Modbus, IEC1107) або оригінальних (протоколи систем ІВСЕ4, СЕМ-1 і т.п.) протоколів обміну.

За призначенням АСКОЕ підрозділяють на системи комерційного й технічного обліку. Комерційним, або розрахунковим обліком називають облік виробленої й відпущеної споживачеві (підприємству) енергії для фінансового розрахунку за неї (прилади для комерційного обліку також називають комерційними або розрахунковими). Технічним, або контрольним обліком називають облік для контролю процесу енергоспоживання в самому підприємстві в його підрозділах і об'єктах (відповідно використовують прилади технічного обліку). Системи АСКОЕ комерційного й технічного обліку можуть бути реалізовані як окремі і єдині (змішані) системи. Донедавна в реалізації систем АСКОЕ на підприємствах переважав інший підхід, але поява нової техніки зробила можливим створення окремих систем (роздільних, принаймні, на середньому рівні АСКОЕ). Цьому сприяла й сама специфіка цих двох видів обліку. Комерційний облік консервативний, має сталу схему енергопостачання, для нього характерна наявність невеликої кількості місць обліку, в яких потрібна установка приладів підвищеної точності, а самі засоби обліку нижнього й середнього рівня АСКОЕ мають вибиратися з державного реєстру вимірювальних засобів. Крім того, системи комерційного обліку в обов'язковому порядку пломбують, що обмежує можливості внесення в них будь-яких оперативних змін з боку персоналу підприємства

Для централізованої системи організація оперативного зворотного зв'язку з різними об'єктами енергообліку потребує побудови або розвиненої глобальної комп'ютерної мережі інфраструктури підприємства, або використання мережі дистанційно керованих табло, підключених до ПК головного енергетика. Обидва ці шляхи на сьогодні для більшості підприємств малоймовірні в силу їхньої дорожнечі.

Альтернативою централізованій системі є децентралізована АСКОЕ (рис. 8.2).

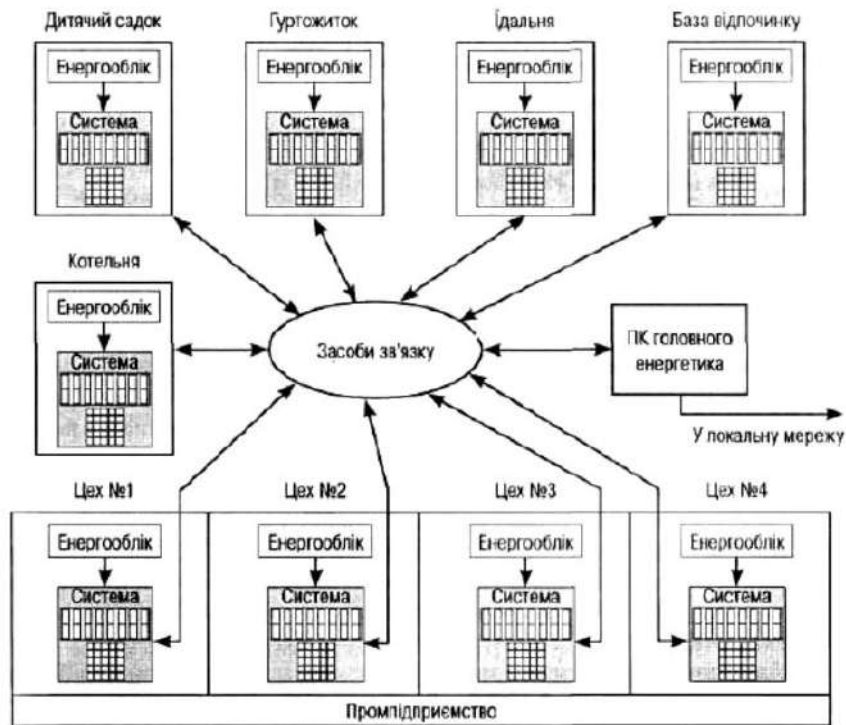


Рисунок 8.2 – Схема децентралізованої АСКОЕ

Таку систему будують на базі недорогих малоканалъних контролерів обліку з вбудованим табло й клавіатурою, які встановлюють безпосередньо на контрольованих об'єктах і через середовище зв'язку підключають до ПК головного енергетика підприємства. Така АСКОЕ забезпечує в реальному масштабі часу доступ до інформації енергообліку всім зацікавленим особам. Децентралізована структура АСКОЕ створює можливість без протиріч об'єднати в рамках єдиної АСКОЕ функції комерційного та технічного обліку: одна або кілька малоканалъних систем відділюють для вирішення завдань комерційного обліку (і, відповідно, пломбують енергоконтролюючими організаціями), а інші системи вирішують завдання технічного обліку. Нарешті, децентралізована АСКОЕ, що використовує системи обліку з додатковими функціями керування, дає змогу реалізувати автоматичне керування навантаженням (споживачами-регуляторами) безпосередньо на місцях встановлення систем (для виробництв із високою технологічною дисципліною).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основні джерела

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. Рой В. Ф. Системи діагностування, контролю, керування та захисту електроенергетичних установок і комплексів / В. Ф. Рой, Ю. П. Кравченко.- Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 128 с.

3. Автоматичне регулювання в електричних системах: підручник / О. С. Яндульський, І. П. Заболотний, В. П. Кобазев ; Держ. вищ. навч. закл. Нац. техн. ун-т України "КПІ", Донец. нац. техн. ун-т. - Донецьк : Ноулідж, Донец. від-ня, 2010. - 190 с.

4. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах: навчальний посібник. К.: Вища школа, 2006. 367 с.

5. Смоляров Г.А. Конспект лекцій з дисципліни «Телемеханіка і АСУ в системах електропостачання», Суми: СНАУ, 2019. -76 с)

Додаткові джерела

6. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. Аграрна освіта, 2010.- 557 с.

7. Говоров П. П., Говоров В. П., Кіндінова А. К. Автоматизація керування режимами систем електропостачання та освітлення міст / П. П. Говоров, В. П. Говоров, А. К.-. Кіндінова // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2021.- № 5.- С.58-63.

8. Автоматизовані системи обліку і якості електроенергії у системах електропостачання // Д. А. Гапон, О. Г. Гриб, І. Т. Карпалюк, Н. В. Рудевіч // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність.- 2021.- Вип. 2 (3), -С. 54–58.

Кравченко В.О.
Лисенко В.В.

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Конспект лекцій

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

Підписано до друку: _____ 2024 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

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