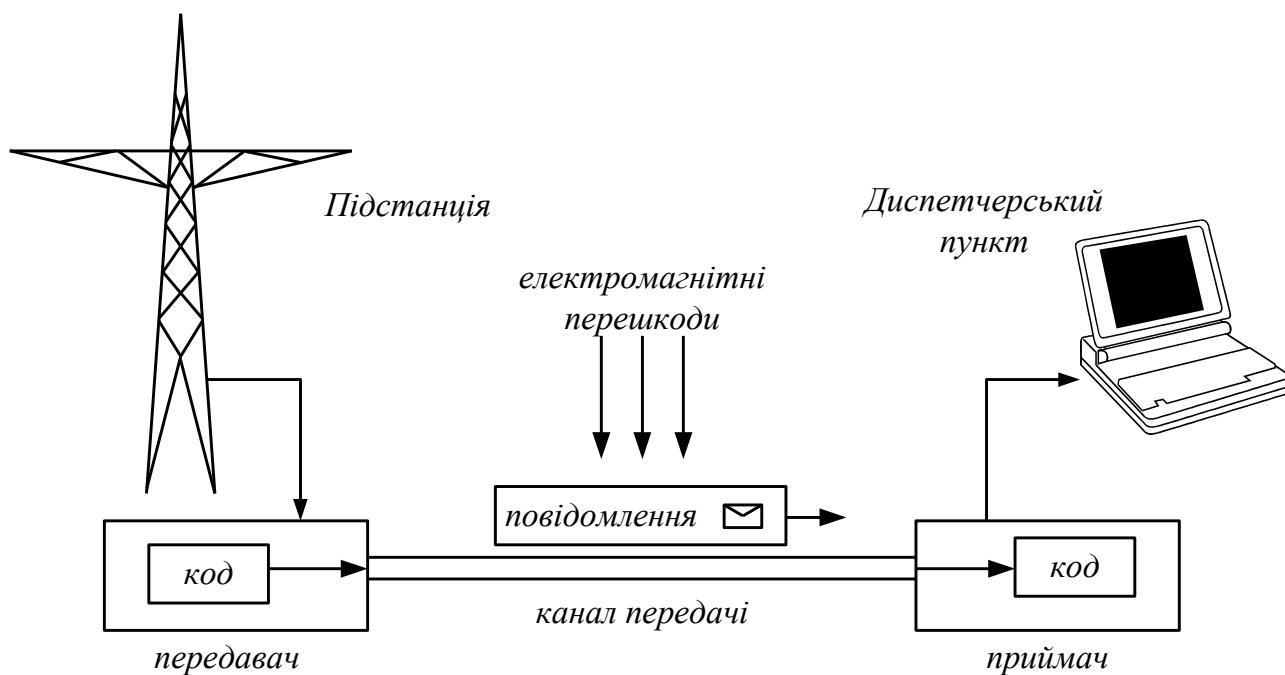


О. Б. Бурикін

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ



Зміст

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	9
1.1 Загальна модель комунікаційної мережі.....	10
1.2 Модель взаємодії відкритих систем.....	13
2 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ МОДЕЛІ OSI. ТРАДИЦІЙНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ В ЕНЕРГЕТИЦІ.....	18
3.1 Провідні (повітряні й кабельні) лінії зв'язку.....	19
3.1.1 Провідні лінії телефонного зв'язку.....	19
3.1.2 Високочастотні канали зв'язку по ЛЕП і розподільним силовим мережам.....	20
3.2 Канали зв'язку по радіо.....	23
3.3 Волоконно-оптичні кабелі, що підвішуються на ЛЕП.....	25
3 КАНАЛЬНИЙ РІВЕНЬ МОДЕЛІ OSI. ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ ФІЗИЧНИМ КАНАЛОМ.....	32
3.1 Передача цифрової інформації.....	33
3.2 Перетворення неперервного сигналу в цифрову форму.....	36
Похибка квантування за рівнем.....	39
3.3 Модуляція.....	41
3.3.1 Амплітудна модуляція гармонійних коливань (АМ).....	42
3.3.2 Частотна й фазова модуляція сигналів (ЧМ і ФМ).....	45
3.4 Кодування інформації для уникнення помилок.....	49
3.4.1 Основні параметри.....	49
3.4.2 Коди без виявлення помилок.....	51
3.4.3 Двійкові достатні коди. Кодування.....	51
3.4.4 Двійкові достатні коди. Декодування.....	53
3.4.5 Коди Грея.....	54
3.4.6 Двійково-десяткові коди.....	55
3.4.7 Коди з виявленням помилок.....	56
3.4.8 Коди із захистом по паритету (коди «чіт/не чіт»).....	57
3.4.9 Коди на одну комбінацію (коди з рівною «вагою»).....	61
3.4.10 Коди Хемінга.....	63
3.4.11 Кореляційні коди.....	67
4 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАЧІ ТА ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	71
4.1 Інформаційне забезпечення систем автоматизації керування.....	71
Лекція №4 Системи телемеханіки.....	75
2.2 Інформаційне забезпечення систем обліку електроенергії.....	80

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ТА ЗБОРУ ДАНИХ.....	86
4.1 Загальна характеристика програмного забезпечення SCADA	86
4.2 Узагальнена архітектура інформаційних систем керування SCADA....	90
4.2 Архітектурна побудова SCADA-систем	94
4.3 SCADA як відкрита система	99
4.4 Стабільність SCADA-Систем.....	101
5 АРХІТЕКТУРА ОІК АСДК ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ	105
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДСТАНЦІ.....	111
6.1 Опис об'єкта дослідження ПС-330 кВ "Вінницька"	111
6.2 Оціночний розрахунок проекту інформаційної системи ПС-330 кВ "Вінницька" у середовищі СКАДА системи Trace Mode 6.0.....	116
ВИСНОВКИ.....	121
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ.....	122

ВСТУП

Нормальне функціонування енергосистем у цілому й окремих енергооб'єктів принципово неможливе без використання різних за призначенням і виконанням систем керування, контролю, зв'язку, і в тому числі систем передачі виробничої інформації.

Під час керування енергосистемами і енергооб'єднаннями практично використовуються всі відомі види зв'язку, а завдань, які розв'язуються під час керування, досить багато. Наприклад, протиаварійне автоматичне керування, автоматичне управління режимами роботи ЕС, оперативне управління і т.д.

Керування виконується за допомогою спеціальних комплексів технічних засобів, як то автоматизовані системи керування (АСУ) технологічними процесами (АСУТП), автоматизовані системи диспетчерського керування (АСДУ) і АСУ виробництвом електричної й теплової енергії (АСУП). Особлива увага в цих системах приділена датчикам інформації, каналам зв'язку, пристроям телемеханіки, апаратурі передачі даних і іншим технічним засобам.

Реальні системи керування, розглядаються як єдине ціле, виконують кілька функцій, є комплексними, інтегрованими. Передача інформації в них здійснюється у двох напрямках - «прямому» і «зворотному», а часто і у декількох напрямках, якщо керовані й контрольовані об'єкти розосереджені в просторі.

Спільними завданнями названих технічних засобів є збір, обробка (перетворення), зберігання й передача різних видів інформації аналіз якої виконано у наступних розділах бакалаврської роботи.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.

Будь-який процес керування «зв'язаний» з одержанням (збором) інформації, її обробкою (переробкою), тимчасовим або довгочасним зберіганням інформації - результату обробки, з її передачею й наступним використанням обробленої інформації (її реалізацією).

Дамо основні визначення:

Повідомлення (відомості, дані) – результат дії деякого матеріального об'єкта або форма його стану, що безпосередньо підлягають передачі іншому матеріальному об'єкту. Істотним у цьому визначенні є те, що повідомлення має матеріальну основу й підлягає передачі. Повідомленням же може бути як результат цілеспрямованої дії, так і результат випадкової дії, який відображається станом об'єкта. Те, що не підлягає передачі, не є «повідомленням».

Відомості (або частина повідомлення), які заздалегідь невідомі одержувачеві, називаються **інформацією**. Звідси випливає, що повідомлення, які вже відомі одержувачеві інформації, не представляють ніякої цінності для одержувача й не несуть інформацію. Із цього визначення також випливає, що повідомлення (відомості) можуть містити (нести, передавати) різну кількість інформації.

Матеріальний об'єкт, якому передається інформація, називають **приймачем або одержувачем інформації**, а об'єкт, що породжує інформацію, – **джерелом інформації**. Одержувач інформації використовує (реалізує) отриману інформацію за її призначення. Звичайно джерело й приймач інформації рознесені в просторі, тобто розташовуються на різному (часто досить значному) відстані.

При цьому виникає завдання забезпечення правильності (вірогідності) переданої інформації, тому що при передачі інформація

може бути спотворена зовнішніми впливами. Ці зовнішні (щодо системи) впливи, які приводять до викривлення інформації, прийнято називати **перешкодами**. Перешкоди, як правило, носять випадковий характер і їх джерело заздалегідь невідоме.

Для «захисту» інформації від перешкод у системах передбачається ряд перетворень сигналів. Цими перетвореннями сигналам надаються така форма й структура, які дозволяють передавати інформацію без помилок (викривлень) при наявності перешкод.

Сигнал - це матеріальний носій інформації, між параметрами якого й переданим повідомленням існує однозначна інформаційна відповідність. При всіх перетвореннях (форми й структури) сигналу кількість інформації, що утримується в ньому повинна залишатися і залишається незмінною.

1.1 Загальна модель комунікаційної мережі

Сучасна телемеханіка представлена комунікаційними мережами. Комунікаційна мережа складається з об'єктів (вузлів), які виконують функції генерування, перетворення, зберігання та передачі інформації. Об'єкти пов'язані між собою лініями зв'язку. Загальна модель комунікаційної мережі показана на рис.1.1.

Особливістю комунікаційної мережі є великі відстані між вузлами порівняно з геометричними розмірами ділянок простору, які ці вузли або об'єкти займають. Наприклад, міжсистемна лінія електричних передач. Геометричні розміри підстанцій, які знаходяться на початку та в кінці цієї лінії, значно менші ніж довжина самої лінії.

Всі процеси комунікації включають в себе:

- джерело інформації або передавач (промисловий контролер, вимірювальне обладнання даних, датчики та ін.)
- приймач даних (ЕОМ, виконавче обладнання даних, принтер та ін.)

Передавач передає повідомлення, яке складається з послідовності символів, приймачу по каналу зв'язку або носієм, який є спільним, як для передавача так і для приймача.

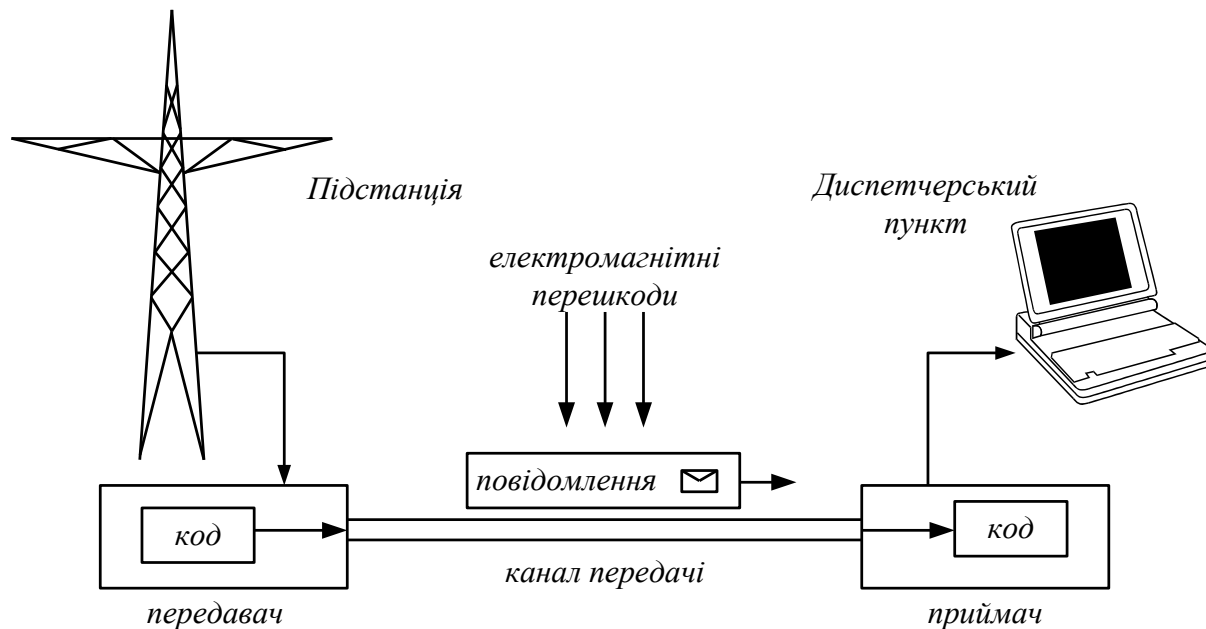


Рисунок 1.1 – Загальна модель комунікаційної мережі

Передавач-об'єкт включає в себе пристрій уведення інформації, пристрій кодування і передавач системи. Приймач-об'єкт складається з пристрою приймача системи, декодувального пристрою і пристрою виведення (видачі) інформації.

Оскільки інформація не має фізичних характеристик (колір, смак та ін.), то для передачі повідомлення використовується код, відповідно до якого передавач змінює фізичні властивості каналу. Приймач вимірює зміни у каналі і відновлює повідомлення. Код передавача та приймача повинні співпадати.

Крім того, на канал зв'язку впливає шум, який спотворює повідомлення та ускладнює відновлення повідомлення. Тому, пристрій, кодування надає первинним сигналам форму й структуру, що допускає можливість передачі сигналів в умовах перешкод, – «кодує» первинні

сигнали й, разом з тим, інформацію. У загальному випадку під «кодуванням» розуміють процес перетворення повідомлення в сигнал.

У результаті кодування утворюються «кодовані сигнали», здатні протистояти дії перешкод, і тому можуть забезпечити бажану вірність передачі інформації.

Передавач і приймач системи в сукупності з лінією зв'язку утворюють пристрій зв'язку. Основною функцією цього пристрою є створення (організація) необхідного числа каналів зв'язки.

Матеріальне середовище між передавачем і приймачем системи називається **лінією зв'язку**. Лінії зв'язку можуть бути «фізичними» (провідними - електричними або оптоволоконними) і «бездротовими», наприклад лазерними, акустичними або радіолініями. Завдання пристрою зв'язку – організувати на лінії зв'язку необхідне число каналів зв'язки.

Канал зв'язку - це тракт (шлях) незалежної передачі сигналів (і інформації) від конкретного джерела до відповідного одержувача. «Незалежність» тут розуміється в змісті відсутності взаємного впливу одного каналу на іншій. Таким чином, канал зв'язку «починається» від конкретного джерела інформації і «закінчується» у відповідного приймача цієї інформації.

Будь-яка комунікаційна система передачі будь-якого виду інформації повинна забезпечити наступні вимоги:

- 1) високу точність і перешкодостійкість;
- 2) високу ефективність передачі;
- 3) високу економічність передачі інформації.

При тяжелых условиях окружающей среды, таких как электромагнитные помехи, разность потенциалов земли, старение элементов и наличие других источников возмущений и случайных помех в канале передачи, требуется високу точність і перешкодостійкість передача

данных. При этих условиях необходимо предусмотреть эффективную защиту сообщений от:

- необнаруживаемых ошибочных битов;
- необнаруживаемых ошибочных кадров, вызванных ошибками синхронизации;
- необнаруживаемых потерь информации;
- появления непредусмотренной информации (то есть образование сообщений из помех);
- разрывов или перестановок в связанных элементах информации.

Під ефективністю звичайно розуміють забезпечення максимальної швидкості передачі при заданих вимогах до точності й перешкодостійкості. Ця вимога зводиться до передачі максимальної кількості інформації за мінімальний час.

Обеспечение мінімальний час передачі інформації здійснюють путем применения ефективних протоколів передачі по каналу зв'язи с ограниченной полосой пропускания и неизвестными точно характеристиками помех, особенно для спорадических сообщений.

Вимога економічності полягає в мінімізації апаратних і вартісних витрат на передачу інформації. Ця вимога зважується на етапах технічного проектування й зводиться до використання типових проектних рішень і уніфікованих технічних засобів.

1.2 Модель взаємодії відкритих систем

Україна є повноправним членом міжнародної електротехнічної комісії (МЕК; англ. International Electrotechnical Commission, IEC) — міжнародна організація із стандартизації у сфері електричних, електронних і суміжних технологій [1]. Деякі із стандартів МЕК розробляються спільно з Міжнародною організацією із стандартизації (ISO) [2 – 4].

З метою запобігання складнощам, які виникають через велику кількість різноманітних несумісних стандартів та кодів, Міжнародна організація по стандартизації (International Organization for Standardization – ISO) розробила еталонну модель взаємодії відкритих систем (Open System Interconnection – OSI), яка є базою для розробки нових стандартів та описує процес комунікації на абстрактному рівні.

Використання даної моделі в енергетиці необхідне для:

- забезпечення сумісності при обміну інформацією між телемеханічними комплексами й пристроями різних виготовлювачів, як вітчизняних, так і закордонних;
- забезпечення передачі оперативної інформації з мітками часу й атрибутами якості;
- забезпечення передачі як традиційних, так і нових видів оперативної інформації з підвищеною точністю й збільшеним обсягом;
- уніфікації протоколів обміну для різних рівнів ієрархії:
 - міжрівневий обмін інформацією між диспетчерськими пунктами (пунктами керування – ПК),
 - обмін між ПК і енергооб'єктами (контрольованими пунктами – КП) – електростанціями й підстанціями,
 - локальний обмін інформацією на диспетчерських пунктах і енергооб'єктах.

Основним принципом моделі OSI є розбиття процесу комунікації на декілька функціональних рівнів, кожен з яких взаємодіє лише з сусідніми рівнями. Такий підхід дозволяє забезпечити деяку міру сумісності та взаємозамінності.

У моделі OSI визначено сім функціональних рівнів (рис.1.2):

1. Фізичний рівень – являє собою фізичне середовище передачі – електричне або оптичне – з відповідними інтерфейсами (Блок сопряжения с линией) до з'єднаних об'єктів, які називають станціями або вузлами. На

даному рівні розглядаються деталі середовища передачі, рівня сигналів та частот. Цей рівень є єдиним матеріальним зв'язком між двома вузлами. Простіше кажучи, це провід або високочастотний тракт, радіоканал, волоконно-оптична лінія та ін.

Характеристиками фізического уровня, относящимися к достоверности данных и эффективности передачи, являются: скорость передачи сигнала, помехоустойчивость, отношение сигнал — помеха, вероятность искажений бита, вероятность стирания бита.

2. Канальный рівень – забезпечує функції, пов'язані з формуванням та передачею кадрів від одного вузла до другого, визначенням та виправленням помилок синхронізації та розміру, які виникають на фізичному рівні. При появі помилки, наприклад через перешкоди на лінії, на цьому рівні виконується запит на повторну передачу пошкодженого кадру. Таким чином канальний рівень забезпечує верхні рівні послугами по безперешкодній передачі даних між вузлами.

3. Мережевий рівень – встановлює маршрут та контролює походження повідомлень від передавача до вузла призначення. Маршрут може складатись з декількох фізичних сегментів, не всі з яких, пов'язані між собою безпосередньо.



Рисунок 1.2 – Модель взаємодії відкритих систем OSI

4. Транспортний рівень – виконує управління доставкою повідомлення від передавача до приймача. Цей рівень являє собою інтерфейс між прикладним програмним забезпеченням та фізичною мережею. Він забезпечує незалежність нижніх рівнів від верхніх.

5. Сеансовий рівень або часовий – відповідає за встановлення, підтримку синхронізації та управління з'єднанням між об'єктами рівня представлення даних. Тут визначається тип зв'язку, реєстрація у мережі, початок і кінець виконання передачі.

6. Рівень представлення даних – забезпечує синтаксичну модель даних, тобто її кодування та перетворення неструктурованого потоку біт в формат, який зрозумілий приймачу. Тобто, відновлення вихідного формату даних.

7. Прикладний рівень або рівень користувача – самий верхній рівень на якому вирішуються прикладні задачі – передача файлів, робота з базами даних та віддалене керування.

Фактично, три нижніх рівня називаються комунікаційними, вони відповідають за доставку повідомлення. Три верхніх рівня відносяться до прикладного забезпечення та працюють з вмістом повідомлення.

Транспортний рівень забезпечує зв'язок між комунікаційними та проблемно-орієнтованими рівнями.

Основна ідея моделі OSI досить проста. Кожен рівень взаємодіє лише з вищим та нижчим сусідніми рівнями, постачаючи послуги вищому рівню та виконуючи запит на послуги у нижчого сусіднього рівня. Рівень, який виконує запит передає параметри та дані на нижчий рівень і переходить в режим очікування відповіді, ігноруючи деталі виконання його запиту нижчим рівнем.

Стандартами МЕК (частина 5) рекомендована архітектура з підвищеною продуктивністю (enhanced performance architecture – EPA) замість класичної семирівневої моделі OSI, щоб зменшити час реакції при обмеженій швидкості передачі. Архітектура EPA використовує лише три рівні: прикладний, каналний і фізичний.

2 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ МОДЕЛІ OSI. ТРАДИЦІЙНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Як уже вказувалось вище, фізичний рівень моделі OSI являє собою фізичне середовище передачі – електричне або оптичне – з відповідними інтерфейсами до з'єднаних об'єктів.

У якості фізичного середовища передачі виступає лінія зв'язку яка складається з одного або більше трактів передачі. Тракт передачі є матеріальним середовищем, по якому поширюються сигнали від передавача до приймача деякої системи передачі інформації.

У якості інтерфейсу виступає блок узгодження, який **преобразует последовательность информационных битов из формы, требуемой на канальном уровне устройства телемеханики, в форму, необходимую для тракта передачи.**

Блок сопряжения с линией обычно выполняет следующие функции:

- **преобразование сигнала;**
- **обеспечение гальванического разделения между аппаратурой телемеханики и каналом связи;**
- **контроль качества сигнала;**
- **обеспечение побитной синхронизации;**
- **добавление или устранение признаков синхронизации кадра, если эта функция не выполняется на канальном уровне;**
- **определение состояний занятости канала связи, ожидания и повреждения.**

В електричних системах використовуються провідні лінії («повітряні» або кабельні), волоконнооптичні лінії й радіолінії (лінії радіозв'язку, радіорелейні й супутникові).

Використовувані в енергосистемах лінії зв'язку (ЛЗ) і діапазони застосовуваних при цьому частот наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Діапазони частот

№	Тип лінії зв'язку	Використовувані для передачі інформації колювання	Діапазон частот
1	Повітряна	Електричні	$(0...2) 10^5$ Гц
2	Кабельна (симетричний кабель та коаксіальний)	Електричні	$(0...15) 10^6$ Гц

	кабель)		
3	Радіозв'язок	Електромагнітні	Від 10^4 Гц до $3 \cdot 10^9$ Гц
4	Радіорелейна	Електромагнітні	Від $3 \cdot 10^4$ Гц до $3 \cdot 10^{10}$ Гц
5	Супутникова	Електромагнітні	$(2.. 8) \cdot 10^9$ Гц
6	Волоконно-Оптична	Електромагнітні спектра (оптичні)	видимого $(3..8) \cdot 10^{14}$ Гц

Каналом зв'язку (каналом передачі інформації) називають тракт передачі, що забезпечує незалежну передачу інформації на відстань від різних джерел до відповідних до приймачів. Цей тракт (шлях) утворюється сукупністю технічних пристроїв і ліній зв'язку. Таким чином, лінії зв'язку того або іншого типу є складовими частинами каналів зв'язки. Крім наведених у табл. 3.1 типів ліній зв'язку, в енергетику широко використовуються канали передачі інформації, які організуються по високовольтних лініях, розподільним силовим мережам (0,4-6) до5, зайнятим лініям телефонного зв'язку.

3.1 Провідні (повітряні й кабельні) лінії зв'язку

Повітряні лінії зв'язку (ПЛЗ) складаються з металевих проводів, підвішених за допомогою ізоляторів і спеціальної арматур (штирів, гаків, траверз) на стовпах (дерев'яних або залізобетонних). Кабельні лінії зв'язку (КЛЗ) являють собою той або інший кабель (ізолювані провідники електричного струму, укладені в загальну вологозахисну оболонку, іноді ще й з металевою стрічкою, що захищає кабель від механічних ушкоджень), прокладений у землі або по дну водойми або підвішений на стовпах повітряної лінії зв'язку або опорах ЛЕП.

3.1.1 Провідні лінії телефонного зв'язку

Телефонний зв'язок призначено для двосторонньої (дуплексної) передачі людської мови (звукових коливань) на значні відстані. При цьому (рис.3.1), за допомогою мікрофона М звукові коливання перетворюються в електричні коливання змінного струму тональних частот (від 300Гц до 3400Гц, а за допомогою телефону Т виконується зворотне перетворення.

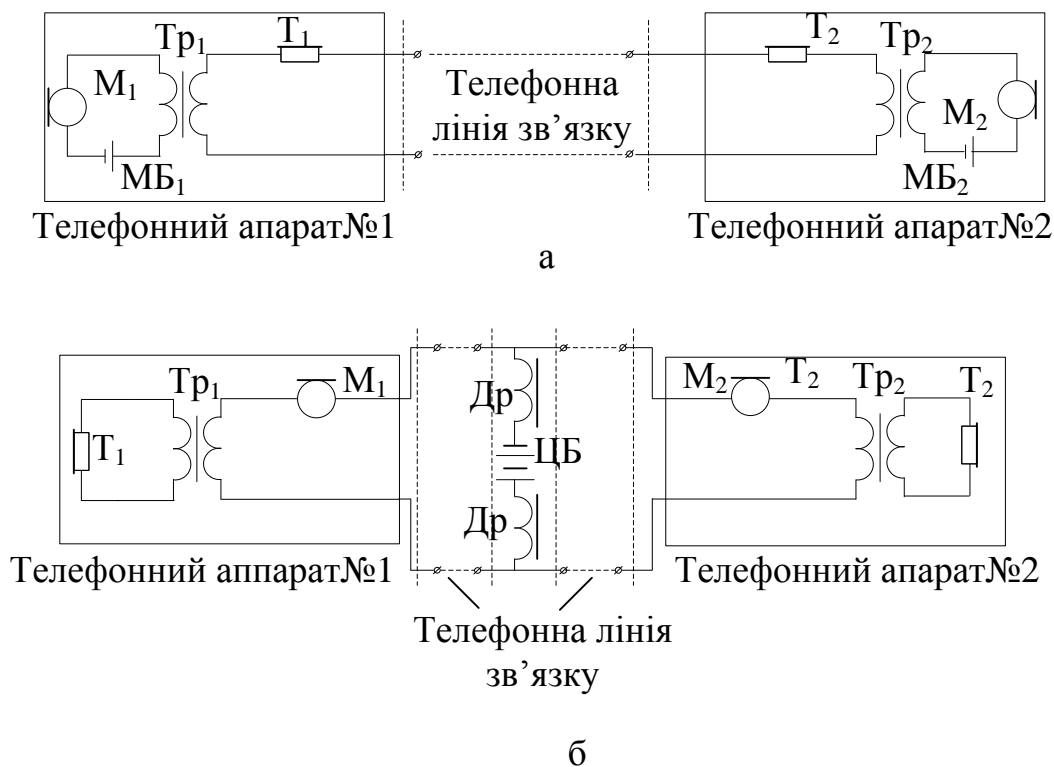


Рисунок 3.1 – Схеми організації телефонного зв'язку
а) з місцевою батареєю; б) з центральною батареєю

Розрізняють дві системи телефонного зв'язку - з місцевою батареєю (МБ) і із центральною батареєю (ЦБ). На рис. 3.1 трансформатори (Тр) забезпечують поділ ланцюгів постійного й змінного (розмовного) струму, а дроселі (Др) (див. рис. 3.1,б) виключають шунтування телефонів по розмовному струму. При системі ЦБ для живлення мікрофонів використовувалася одна батарея, розташована на телефонній станції.

При телефонній мережі, організованій по системі МБ, широко застосовувалися штучні (фантомні) ланцюги, що забезпечують можливість одночасної передачі як сигналів постійного струму телеграфної (або телемеханічної) зв'язки, так і змінних струмів телефонному зв'язку по одній парі проводів.

3.1.2 Високочастотні канали зв'язку по ЛЕП і розподільним силовим мережам

Для надійної передачі мови, команд релейного захисту (РЗ) і протиаварійної автоматики (ПА) в енергетику широко використовується високочастотний зв'язок (ВЧЗ) по ЛЕП. При цьому, як правило, реалізується принцип частотного або частотно-тимчасового ущільнення. Канали організуються у високочастотному діапазоні з несучими

частотами $f = (300...500)\text{кГц}$, щоб виключити вплив гармонік змінного промислового струму й перешкод, що виникають при «коронуванні» проводів високої напруги. Для цієї мети використовується спеціальна апаратура «високочастотної обробки» ЛЕП, що полягає з елементів приєднання й апаратури ВЧ зв'язку (рис. 3.2).

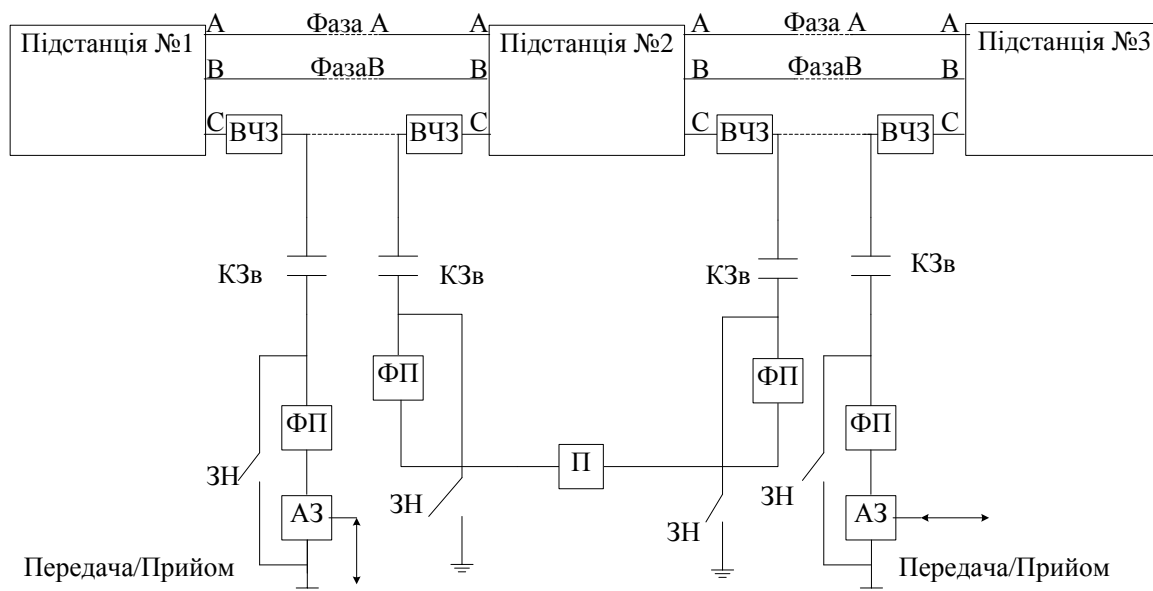


Рисунок 3.2 – Створення каналів зв'язку по ЛЕП

Елементами приєднання є високочастотний загороджувач ВЧЗ, високовольтний конденсатор зв'язку КЗв і фільтр приєднання ФП. ВЧЗ забезпечує проходження без втрат струму частотою $f=50\text{Гц}$ і повинен бути розрахований на мінімально-можливий безперервний струм у ЛЕП, витримуючи короточасний максимальний струм короткого замикання в місці установки. З іншого боку, загороджувач повинен створювати великий опір високочастотному струму зв'язку.

Конденсатори зв'язку (КЗв) постійно перебувають під високою напругою промислової частоти, мають порівняно невелику ємність (2200...35000 пФ), виконуються в порцелянових (для ЛЕП $U > 25\text{кВ}$) або в металевих корпусах (при $U=6-35\text{кВ}$) і мають паперово-масляну ізоляцію.

Фільтри приєднання (ФП) забезпечують узгодження апаратури високочастотного зв'язку з ЛЕП. Для захисту персоналу у періоди ревізій і ремонту передбачається «заземлюючий ніж» (ЗН).

На рис. 3.2 відображений випадок створення каналів зв'язку по системі «фаза-земля» між підстанціями №1 і №3, а на підстанції №2 організовано обхідний шлях із проміжним посиленням струмів зв'язку (підсилювач П).

Крім високовольтних ліній, для створення каналів зв'язку можуть бути використані розподільні мережі 6/0,4кВ електроживлення

електрифікованого міського й залізничного транспорту. У цих мережах, як правило, застосовується спосіб приєднання « фаза-фаза» (рис. 3.3).

На диспетчерському пункті (рис. 3.3) апаратура зв'язку й телемеханіки (АЗТ) приєднується до фаз В і С через конденсатори зв'язку КЗв і високочастотний трансформатор зв'язку ТС. На виконавчому пункті для знімання високочастотних сигналів, як показав досвід експлуатації, можуть використовуватися вторинні обмотки силового трифазного трансформатора СТТ.

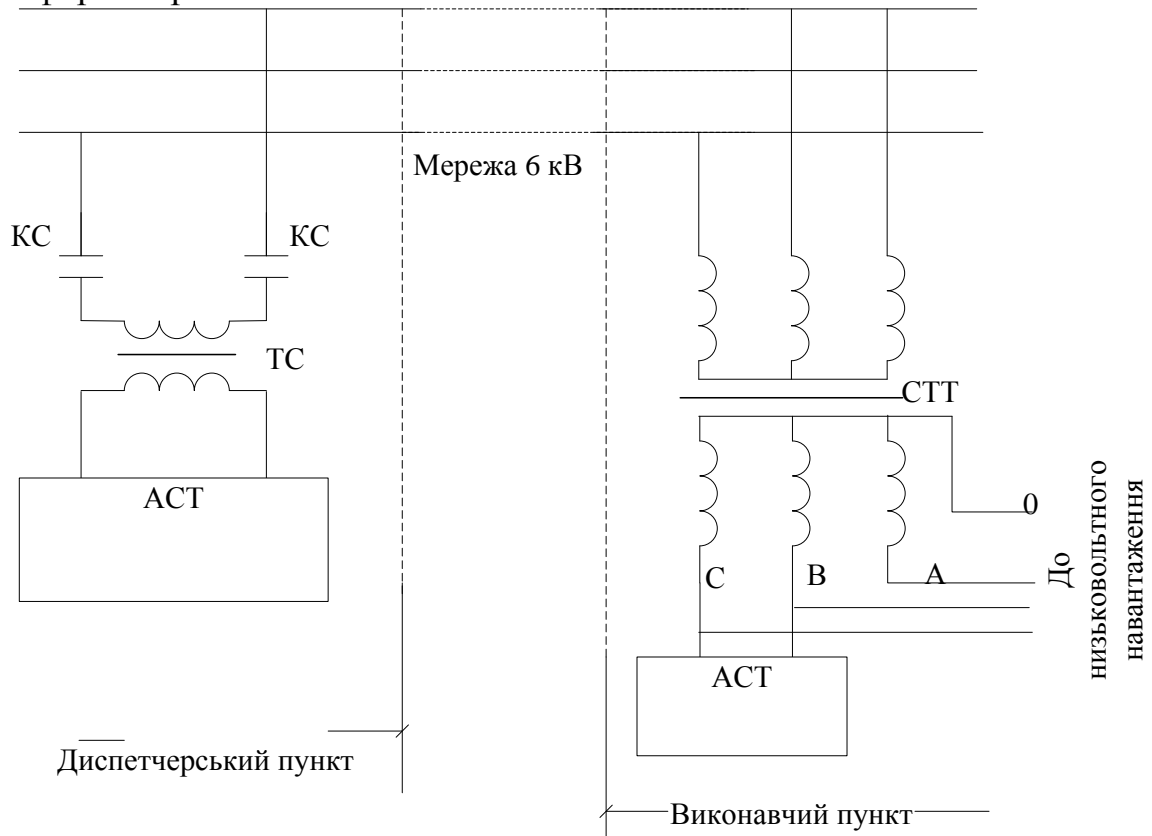


Рисунок 3.3 – Створення каналів телемеханіки по розподільній мережі 6/0,4 кВ

Особливістю розподільних силових мереж є велика кількість навантажень, що підключаються до мережі, причому місце їх підключення часто міняється (наприклад при русі трамвая або тролейбуса). Тому що ці навантаження шунтують сигнали телемеханіки, то доводиться підвищувати потужність вихідного сигналу АЗТ, звужувати смугу частот під передачу сигналів, і знижувати ці частоти аж до 10Гц, допускаючи можливість втрати швидкості передачі інформації.

Кращі можливості надає передача сигналів струмами «нульової послідовності» (рис. 3.4). Тут використовуються трансформатори напруги ТН, які набагато надійніше конденсаторів зв'язку, та й ремонтпридатність їх набагато вище. Вторинні обмотки ТН включені у відкритий трикутник, тобто створюється фільтр нульової послідовності, а канал зв'язку

організується одночасно по трьом проводах (А, В и С), включеним паралельно для струмів зв'язку.

Звичайно так створюються частотні канали: для аварійно-попереджувальної сигналізації (20...400)Гц, для телеграфного й телемеханічного зв'язку (400... 1400)Гц, для службового телефонного зв'язку (1400... 3200)Гц або для надтонового телеграфу ($f > 3400$) Гц.

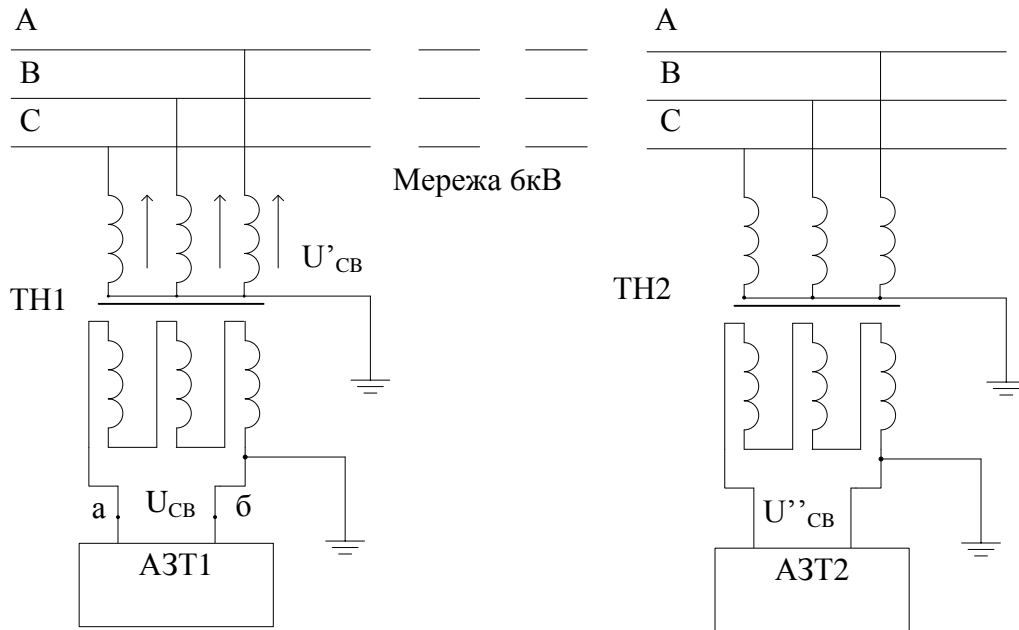


Рисунок 3.4 – Канали зв'язку на струмах нульової послідовності

Відомо, що в схемі «відкритий трикутник», при симетричній системі напруг, сума миттєвих напруг (струму промислової частоти) у будь-який момент часу дорівнює нулю. Тому, якщо в розрив трикутника (точки а й б) подати напругу сигналу зв'язку (на частоті значно більшої частоти промислового струму), то в первинних обмотках трансформатора, наприклад ТН1, з'являться струми зв'язку з однаковою фазою. Ці струми, протікаючи по фазових проводах високовольтної лінії, на прийомній стороні, у вторинних обмотках трансформатора (ТН2) створять напругу сигналу зв'язку (U''_{CB}). При такій схемі досить просто організовується дуплексний канал зв'язку між АЗТ1 і АЗТ2.

3.2 Канали зв'язку по радіо

Заміна провідних каналів зв'язку на радіоканали приваблює простотою організації останніх, – не потрібні лінійні спорудження, зменшується час на організацію таких зв'язків. Однак через поганий вплив часу доби, метеорологічних умов і ряду інших причин на якість

радіозв'язку, особливо в довгохвильовому й короткохвильовому діапазонах, застосування радіозв'язку в енергосистемах не знайшло широкого застосування.

Набагато частіше використовувалися радіорелейні лінії (РРЛ), що представляють собою ряд радіостанцій і споруджень зі спрямованими приймально-передавальними антенами (рис. 3.5).

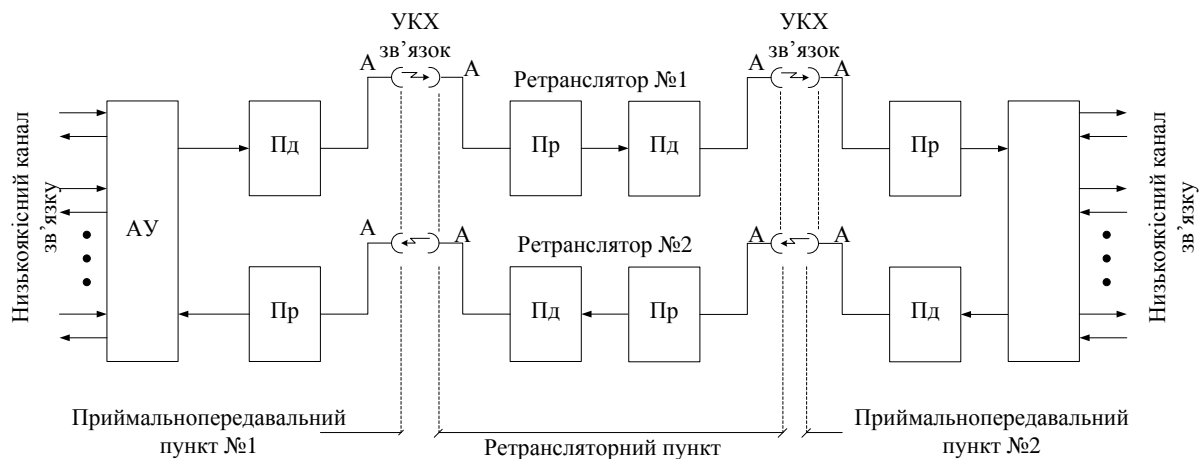


Рисунок 3.5 – Спрощена структурна схема радіорелейної лінії

Анени ретрансляторів розташовуються на відстані прямої видимості (40...60 км при висоті антен до 70 м), а передача/приймання ведеться на частотах УКВ діапазону (від 1,6 ГГц до 3,9 ГГц). Канали організуються методами частотного й тимчасового ущільнення. Звичайно всі канали - симплексні, причому «прямий» і «зворотний» канали рознесені по частоті, що виключає взаємний вплив одного каналу на іншій. Сукупність каналів одного напрямку утворює високочастотний «ствол» РРЛ. Як правило, у РРЛ два стволи, але може бути їх більше. Передача/приймання УКВ сигналів здійснюється параболічними антенами (А) відповідно до передавальної й приймальної (див. рис.3.5). На структурній схемі показане, що входить до складу приймально-передавальних пунктів пунктів №1 і №2 (АУ - апаратура ущільнення, Пд - передавач і Пр - приймач УКВ сигналів),

а так само - склад ретрансляційних пунктів. У функції ретрансляторів входить посилення прийнятих і переданих УКВ сигналів, а також може бути передбачена корекція сигналів, які піддаються дії перешкод. Таким чином, за рахунок збільшення числа ретрансляційних пунктів (ретрансляторів) може бути забезпечена більша дальність і досить висока завадостійкість передачі.

Як уже вказувалося вище, надійна робота РРЛ забезпечується, коли ретранслятори перебувають у межах прямої видимості антен передавача й приймача. Скоротити число ретрансляторів можна, розміщаючи їх на стаціонарних супутниках, «висячих нерухомо» над поверхнею Землі на висоті приблизно в 36000км, що й забезпечують безперервний зв'язок з наземними станціями на частоті (2..8) ГГц.

Досвід використання супутниковому зв'язку в енергосистемах слід визнати (по наявних публікаціях) досить позитивним. Однак, у зв'язку із широким впровадженням волоконно-оптичних ліній зв'язку, інтерес енергетиків до супутникового зв'язку зменшується.

3.3 Волоконно-оптичні кабелі, що підвішуються на ЛЕП

Основні елементи волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛС) представлені на рис. 3.6.

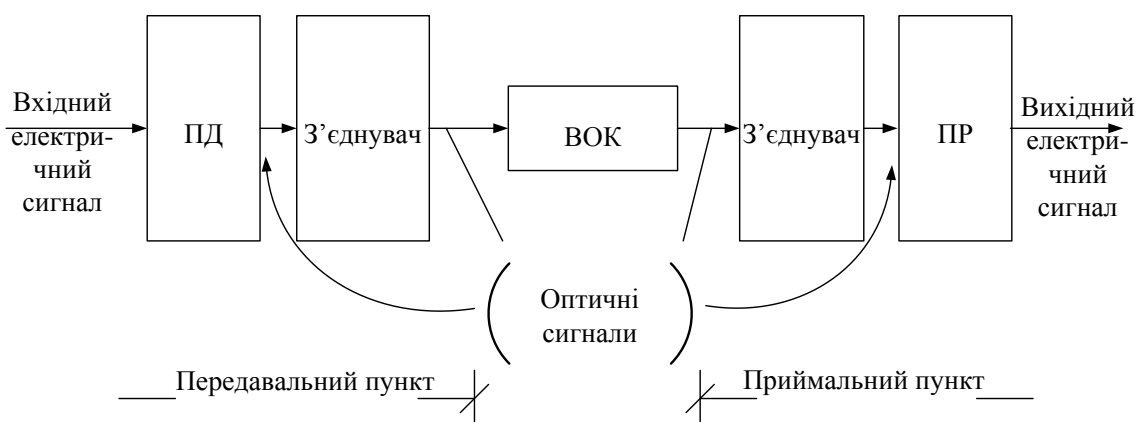


Рисунок 3.6 – Структура волоконно-оптичної лінії зв'язку

ПД – передавач; ВОК – волоконно-оптичний кабель; ПР – приймач

Передавач перетворить електричний сигнал у світловий (оптичний). Фактично в передавачі відбувається перенос низькочастотного електричного сигналу в область видимого спектра частот, тобто виконується модуляція електромагнітних коливань видимого (оптичного) спектра. Приймач ухвалює світловий сигнал з волоконно-оптичного кабелю й демодулює його, тобто перетворить в електричний сигнал. З'єднувачі (коннектори) виконують досить відповідальну функцію за узгодженням характеристик оптичного сигналу на виході передавача й відповідно на вході приймача з характеристиками волоконно-оптичного кабелю. Вони ж забезпечують стикування окремих шматків ВОК з мінімальним загасанням.

В енергосистемах найбільше часто використовуються волоконно-оптичні або, просто, оптичні кабелі, що підвішуються на ЛЕП. Відомо кілька способів підвіски оптичних кабелів (ОК) на ЛЕП (рис. 3.7).

По перших двом варіантам ОК розташовується в центрі грозозахисного троса або фази. Самонесучий оптичний кабель має посилену броню, що забезпечує необхідну механічну міцність при підвіску на ЛЕП з більшими прольотами. Закріплення ОК здійснюється за допомогою підвісок до грозозахисного троса або до спеціально підвішеного троса.

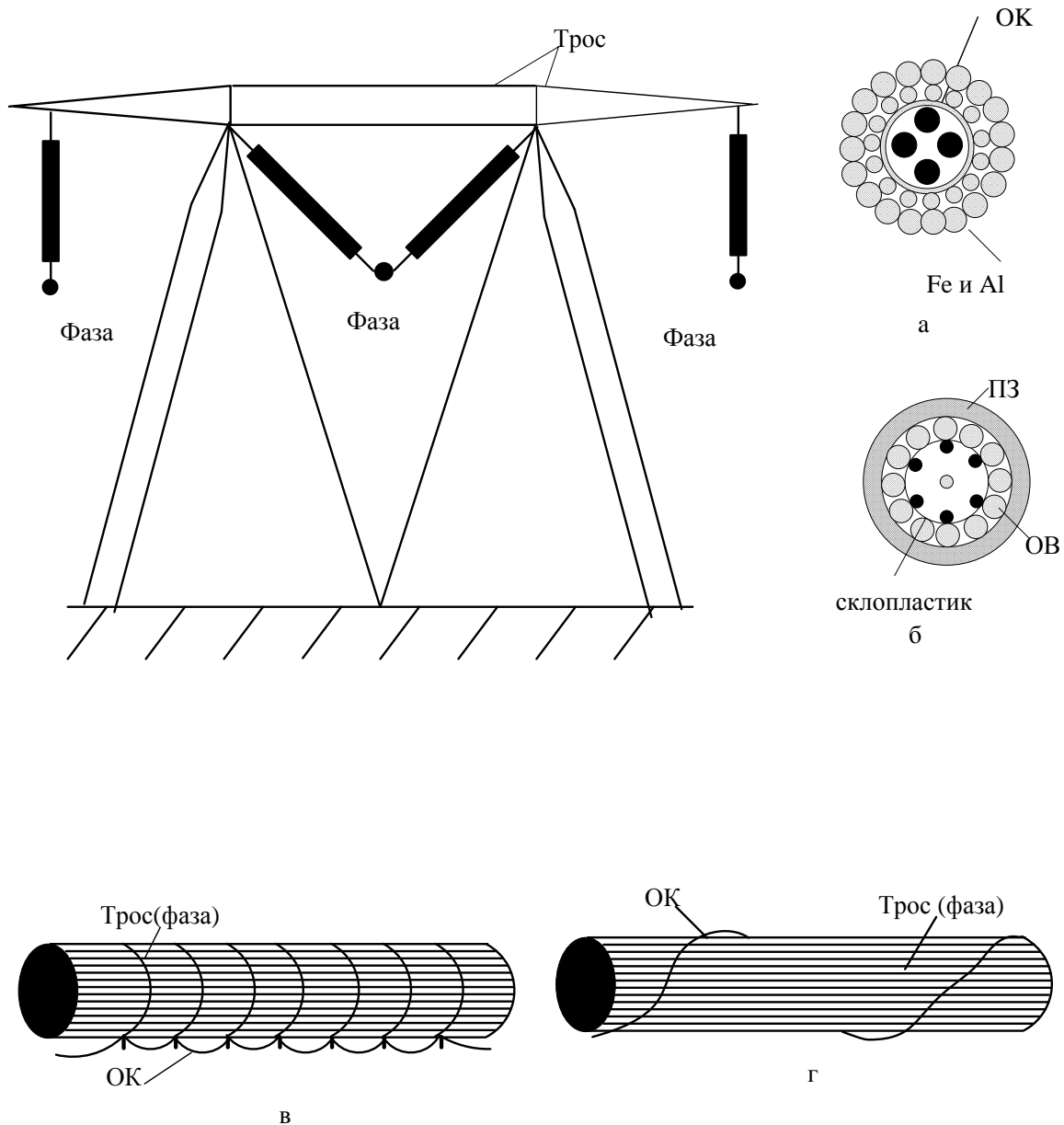


Рисунок 3.7 – Варіанти підвішування оптичних кабелів на ЛЕП

а) ОК, вбудований в блискавкозахисний трос або у фазу;

б) самонесучий оптичний кабель; в) ОК на підвісках;

г) спіральне намотування ОК на трос або фазу

Підвісні оптичні кабелі мають від 4 до 32 оптичних волокон. На рис.3.8 показана конструкція вітчизняного оптичного кабелю, вбудованого в трос. Кабель містить чотири модулі, у кожному з яких можна розмістити по 8 або по 16 волокон. Оболонка - з алюмінію товщиною 1мм. Діаметр

кабелю – 8 мм. Трос має два повиву зі сталевих дротів діаметром 1,6 мм і зовні повивши з алюмінієвих дротів діаметром 2мм. Загальний діаметр троса - 18,4 мм, маса підвіски на 1 км - близько 1 т.

Конструкція вітчизняного самонесучого кабелю наведена на рис.3.8. Кабель містить 6 або 12 волокон, для механічної міцності є два повиву стрижнів зі скловолокон діаметром по 2мм. Зовні – поліетиленова оболонка. Загальний діаметр кабелю - 11мм, маса - 296 кг/км.

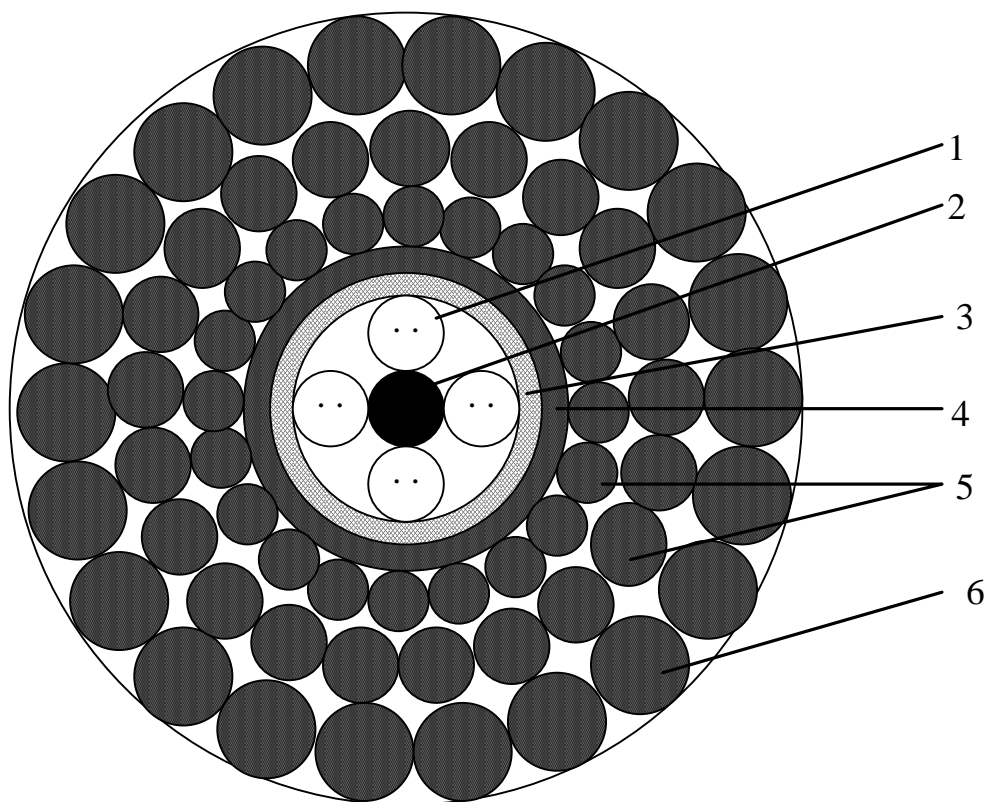


Рисунок 3.8 – Вітчизняний оптичний кабель вбудований у трос
 1 – волокно; 2 – силовий елемент; 3 – поліетилен; 4 – алюмінієва оболонка;
 5 – сталеві дроти; 6 – алюмінієві дроти.

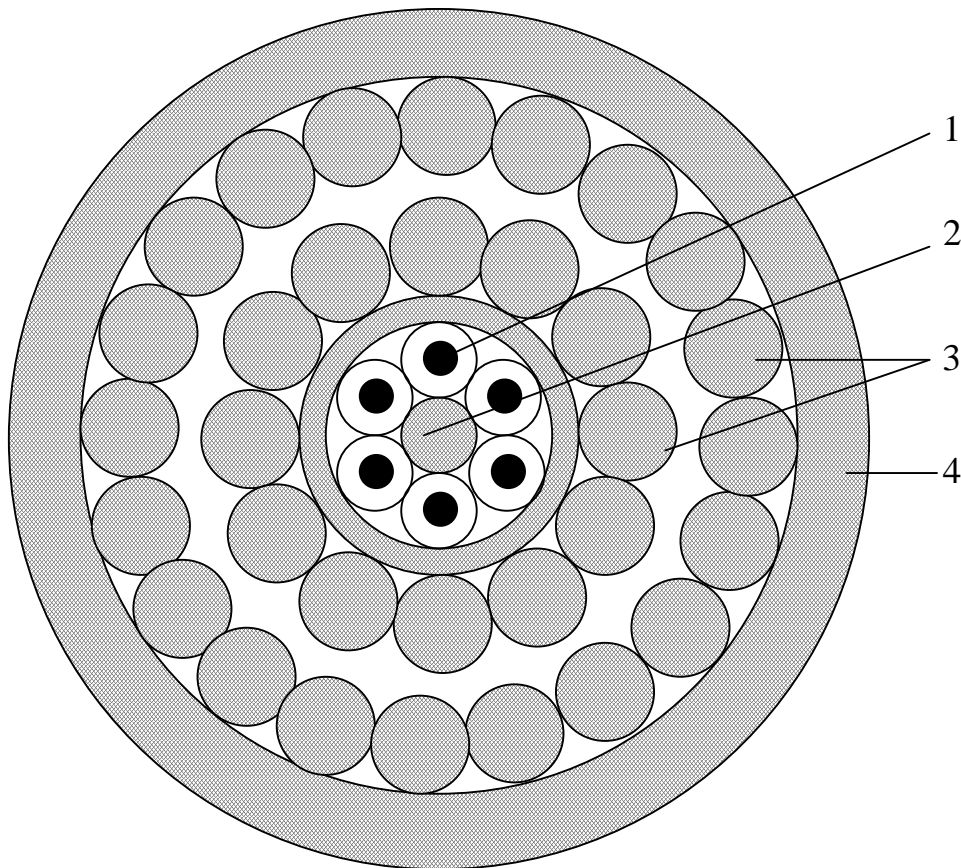


Рисунок 3.9 – Самонесучий оптичний кабель вітчизняного виробництва:

- 1 – волокно; 2 – силовий елемент; 3 – стрижні з склопластику;
4 – поліетиленова оболонка.

3.4 GPS

Супутникова навігаційна система GPS (Global Positioning System) або Глобальна система позиціонування, точніше - її космічний сегмент, являє собою сузір'я з 24 супутників. Система GPS (офіційна назва - NAVSTAR) розроблена на замовлення і перебуває під керуванням Міністерства оборони США. У 1980-х систему відкрили для цивільного використання. Система GPS працює при будь-яких погодних умовах в усьому світі 24 години на добу. З її допомогою можна з високим ступенем точності визначати координати й швидкість рухливих об'єктів. За користування послугами системи GPS не стягують ні абонентську плату, ні плату за

підключення. Усе, що потрібно для користування системою GPS - це придбати GPS-приймач. Як працює система GPS

Супутники GPS обертають навколо Землі круговими орбітами із частотою 2 оберти на добу, передаючи навігаційні радіосигнали. GPS - приймачі приймають ці сигнали й обчислюють місце розташування методом тріангуляції. Приймач порівнює час випромінювання сигналу із часом прийому цього сигналу. Різниця між цими величинами дозволяє обчислити відстань до супутника. Знаючи відстань до декількох супутників, GPS-приймач може визначити своє місце розташування й відобразити його на електронній карті.

Приймаючи інформацію хоча б від трьох супутників, GPS-приймач може визначити двомірні координати користувача (широту й довготу). "Захопивши" чотири й більше супутники, прилад може визначити тривимірні координати (широту, довготу й висоту). Визначивши місце розташування користувача, приймач може обчислити такі величини як швидкість, шляховий кут, траєкторію, пройдену відстань, відстань до кінцевого пункту, час сходу й заходу сонця й багато чого іншого.

Супутники GPS передають два малопотужних сигнали на частотах L1 і L2. Цивільні GPS - приймачі працюють на частоті L1=1575,42 МГц. Прийом сигналів можливий тільки із супутників, що перебувають у межах прямої видимості. Хмари, скло й пластик не є перешкодами для сигналу, в той час як більшість щільних об'єктів, таких як будинки, рельєф місцевості, металеві предмети й люди - є.

Сигнал, переданий супутниками GPS, містить три важливі складові - псевдовипадковий код, ефемерідні дані й альманах. Псевдовипадковий код містить номер супутника, що передає інформацію. GPS - приймачі GARMIN відображають його на сторінці супутників.

Ефемерідні дані, що постійно передає кожний супутник, містять важливу інформацію про статус супутника (робітник або неробочий), а

також поточну дату й час. Ця частина сигналу і використовується в енергетиці.

Останні дослідження по використанню GPS в енергетиці пов'язані з моніторингом електроенергетичних систем. У [джерело] зазначається, що можливо визначити кути зсуву фаз у реальному часі по формі кривої напруги вузлів, так як GPS дозволяє виконувати точну синхронізацію у часі. Розташування GPS приймачів у контрольних точках електричної мережі дозволяє виконувати ефективний моніторинг стійкості електричних систем.

Також, однією з ключових задач оперативного керування є оцінка стану електричної мережі за вимірними параметрами. Зазвичай вимірні параметри не вміщують кут зсуву фаз вздовж лінії електропередачі, так як існує проблема синхронізації телевимірювань. Використання GPS у енергетиці дозволило зменшити проблеми синхронізації та створити пристрої вимірювання кута зсуву фаз [джерело].

3 ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ ФІЗИЧНИМ КАНАЛОМ. КАНАЛЬНИЙ РІВЕНЬ МОДЕЛІ OSI

Інформація це поняття, про яке ми маємо інтуїтивну уяву, її неможливо виразити через інші основні величини.

Будь-яка система вміщує інформацію про себе саму, її можна передавати за малих витрат праці. Наприклад, креслення електростанції або підстанції вміщують багато структурної інформації про споруду, однак на відміну від електростанції, їх можна передавати куди завгодно з досить малими зусиллями.

Важливою властивістю інформації є те, що її можна копіювати без погіршення якості.

З математичної точки зору інформація визначається, як міра впорядкованості множини, що вміщує різні об'єкти. Уявно стан об'єкту можна позначити деяким символом. Наприклад, цифри 0-9 являють собою 10 різноманітних станів об'єкту. Виявлення стану об'єкту еквівалентно отриманню інформації про нього.

Міра інформації, яка пов'язана із системою може приймати n можливих станів, та розраховується за виразом:

$$I = \log_2 n$$

Тобто, міра інформації I відображує інформаційний вміст об'єкту та дає оцінку кількості інформації про об'єкт.

Логарифм для визначення міри інформації можна обчислювати і по інших основах відмінних від 2, однак така можливість рідко використовується на практиці.

Якщо логарифм обчислюється по основі 2, то інформація буде вимірюватись у бітах (bit).

Біт є досить зручною одиницею для схем цифрової логіки, у яких його можна представити різними рівнями напруги або струму в електричному колі.

Якщо об'єкт може приймати лише один із двох станів, то його інформаційний зміст дорівнює 1 біту:

$$I = \log_2 2 = 1 \text{ біт,}$$

якщо 10 станів то 3.32 біт:

$$I = \log_2 10 = 3.32 \text{ біт.}$$

Для об'єкту інформаційний вміст якого становить 3.32 біт або 10 можливих станів необхідно мінімум 4 ключі, які дозволяють представити $2^4=16$ різних станів.

Наприклад, при передачі інформації про напругу, яка змінюється від 0 до 110 кВ з точністю до 1 кВ необхідно 7 біт інформації або $2^7=128$ різних станів.

Основним параметром, що характеризує канал зв'язку є його пропускна здатність, тобто кількість інформації, яку можна передати за одиницю часу. Пропускна здатність звичайно вимірюють в біт/с. Правильно обраний канал зв'язку забезпечує передачу необхідної кількості інформації за заданий час.

Чим більша пропускна здатність тим дорожчий канал.

Пропускна здатність фізичного каналу тісно пов'язана з пропускною смугою, потужністю сигналу та рівнем шуму.

Пропускна смуга – це діапазон частот, які канал здатен передати з падінням рівня потужності до 50%. Пропускна смуга вимірюється в герцах.

Пропускна смуга звичайної телефонної лінії дорівнює 3.1 кГц, а телевізійного каналу 5.5 МГц.

Максимальна **пропускна здатність** каналу вимірюється у біт/с та визначається за виразом:

$$R_{\max} = 2W \cdot \log_2 V$$

де V – кількість рівнів сигналу; W – пропускна смуга.

3.1 Передача цифрової інформації

Існують два основних способи передачі бітової послідовності фізичним каналом:

- послідовна біт у лінію в безпосередньому або закодованому вигляді при збереженні цифрового характеру даних;
- модуляція несучої по амплітуді/частоті/фазі й передача модульованого сигналу.

Безпосередній спосіб передачі цифрових даних є найбільш простим. При безпосередньому кодуванні, наприклад, рівень напруги 0 В уявляє логічний "0", а + 10 В - логічну "1". Нуль відповідає спокою (space), а одиниця - послідовності або імпульсу (mark). Часто використовується зворотне кодування - при "0" (або спокої) лінія перебуває під високою напругою, а "1" (послідовності) відповідає низький рівень напруги. Широко використовується полярне кодування - сигнали, що відповідають "0" і "1", мають однакові рівні але протилежні знаки. Пряме, зворотне й полярне кодування називаються кодуванням без повернення до нуля (Non-Return to Zero - NRZ), тому що в ньому відсутній обов'язковий перехід до нульового

рівня. Послідовність одиниць буде підтримувати на лінії постійно високий або низький потенціалі відповідно до прийнятої схеми кодування. Метод кодування без повернення до нуля простий, але чутливий до перешкод і спотворень. Для компенсації загасання і спотворення у лінії на стороні приймача будь-яка напруга менше ніж + 2 В інтерпретується як логічний "0", а рівні вище +5 В сприймаються як "1". Тригер Шмідта (Schmidt trigger), налаштований на ці рівні, можна використовувати для відновлення цифрового сигналу (рис.1.1).

Знання опорного рівня (нуля) необхідно тільки при трирівневому кодуванні; в інших випадках для розпізнавання відповідних даних абсолютний рівень сигналу не грає ролі.

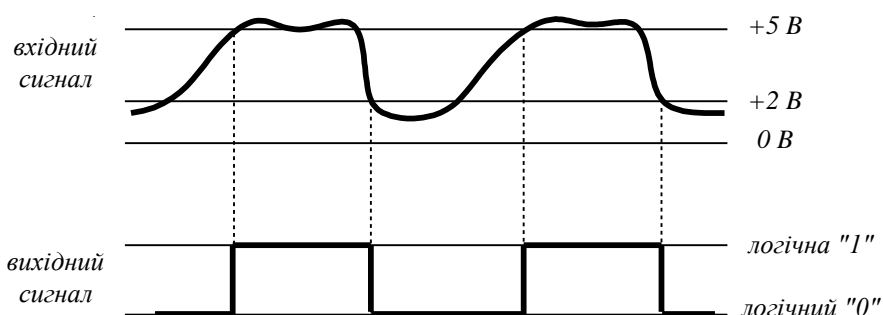


Рис. 1.1. Граничні значення для тригера Шмідта

Однак при безпосередньому застосуванні NRZ-кодування виникає ще одна значна проблема. Приймач не може розрізнити, де починається і кінчається кожен окремий біт. Крім того, якщо передавач використовує різні швидкості, приймач не може відразу на початку передачі визначити його швидкість. Іншими словами, чисте NRZ-кодування не дозволяє відрізнити відсутність повідомлення в послідовності нулів. Як розглядати імпульс, який надходить до приймача – як одна довга або як дві короткі одиниці? Можливе рішення - супроводжувати кожне повідомлення преамбулою (preamble), тобто послідовністю нулів і одиниць, що чергуються та забезпечують синхронізацію передавача і приймача. Однак при цьому залишається ризик втрати синхронізації в процесі передачі даних і, відповідно, неправильної їхньої інтерпретації. Нарешті, якщо всі імпульси мають однакову полярність, розподілена ємність лінії призведе до накопичення постійного електричного потенціалу.

Приклад прямого кодування наведено на рис.1.2а.

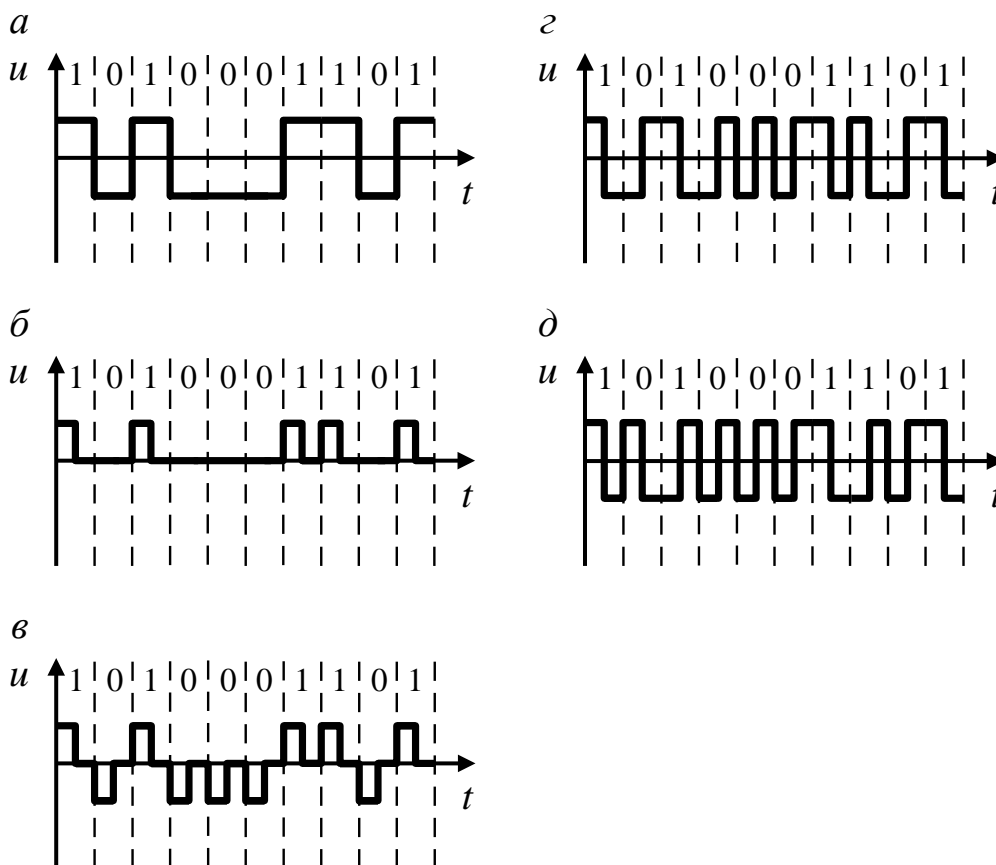


Рисунок 1.2 – Способи цифрового кодування

а - пряме двійкове без повернення до нуля (NRZ); б - пряме двійкове з поверненням до нуля (RZ); в - трирівневе з поверненням до нуля; г-д - манчестерське (г) та диференціальне манчестерське (д) кодування.

Всі зазначені проблеми вирішуються при кодуванні з поверненням до нуля (Return to Zero - RZ) (рис.1.2 б). У цьому випадку вихідні дані комбінуються із сигналом синхронізації. Як і при прямому кодуванні, тут також визначені два рівні потенціалу, один із яких відповідає логічному нулю, а другий - логічній одиниці. Кожен біт починається з певного для його значення рівня потенціалу, а в середині кожного імпульсу здійснюється перехід на нульовий рівень; фронт переходу використовується для синхронізації приймача. При іншому типі RZ-кодування застосовуються сигнали різної полярності (рис.1.2 в). RZ-кодування вимагає у два рази більшої пропускної смуги, ніж NRZ-кодування, а відповідна електроніка пристроїв інтерфейсу набагато складніша, однак переваги методу відсувають ці недоліки на задній план.

Інший спосіб - це манчестерське або двофазне кодування (Biphase Level - BiF-L). При манчестерському кодуванні кожен біт кодується двома рівнями напруги з переходом у середині кожного імпульсу (біта). При прямому манчестерському кодуванні біт "0" відповідає переходу від

низького рівня напруги до високого, а біт "1" - переходом від високого рівня до низького (рис.1.2 г). Схожа схема використовується при диференціальному манчестерському кодуванні, при якому біт "0" відповідає зміні рівня на початку кожного нового періоду, а біт "1" - відсутністю такого переходу (рис.1.2 д). При диференціальному манчестерському кодуванні код біта залежить від рівня напруги другої половини попереднього біта.

Манчестерське та диференціальне манчестерське кодування є кодами, що самосинхронізуються (тобто дозволяють приймачу настроїтися на передавач без спеціальних синхросигналів) і мають більш високий захист від шуму в порівнянні з RZ-кодуванням. Як і для кодування з поверненням до нуля манчестерські схеми вимагають у два рази більш широкої пропускнуої смуги, ніж NRZ-кодування. Перевага манчестерського кодування полягає в тому, що використовується два рівні напруги замість трьох, а відповідна апаратура простіша, ніж при RZ-кодуванні.

3.2 Перетворення неперервного сигналу в цифрову форму

Як правило, передача інформації в системах телевимірювання (ТВ) пов'язана з перетворенням сигналів. У деяких випадках сигнали багаторазово трансформуються з однієї форми в іншу, причому більша частина проміжних форм необхідна для полегшення і покращання якості передачі інформації, а кінцеві форми повинні забезпечити сприйняття цієї інформації машиною або людиною.

Інформація може бути представлена у вигляді безперервних або дискретних сигналів. У безперервних сигналах постійно, тобто для будь-якого моменту часу закладені повідомлення; такий сигнал безперервний у часі, за рівнем.

У дискретного сигналу амплітуда може приймати кінцеве число значень. Тому перехід від безперервного сигналу до дискретного приводить до округлення, або полягає в перетворенні деякої величини з безперервною шкалою значень у величину, що має дискретну шкалу. Процес заміни безперервного сигналу його окремими значеннями, що відстають один від одного на скінченний інтервал (рівень) називається квантуванням за рівнем.

Під час квантування за рівнем значення безперервного сигналу в довільний момент часу замінюється своїм найближчим значенням, який називається рівнем квантування – b_i . Інтервал між двома дискретними значеннями називається кроком квантування — h .

На рис.2.1а ілюструється процес квантування. По осі ординат відкладається величина заздалегідь обраного кроку квантування h і

проводяться лінії, паралельні осі часу, що показують рівні квантування. Перехід з одного рівня на інший відбувається, коли значення функції перебуває в середині інтервалу квантування, тому що в цей момент абсолютна похибка квантування виявляється найбільшою $\varepsilon_{y \max} = h/2$.

Процес квантування здійснюється в такий спосіб: інтервали квантування діляться навпіл, і проводяться пунктирні горизонтальні лінії до їхнього перетину із квантованим безперервним сигналом (функцією $y(t)$). У точках перетину значення функції $y(t)$ передається найменш точно і помилка квантування ε_y досягає максимального значення $h/2$. У цих точках відбувається перехід дискретної функції $y'(t)$ з одного рівня квантування на інший. В інших точках квантування виникає похибка квантування ε_y , рівна різниці між значеннями функцій $y(t)$ і $y'(t)$. Абсолютні значення цієї помилки ілюструються на рис.2.1 б, де по осі ординат відкладаються помилки квантування за рівнем ε_y , а по осі абсцис час t .

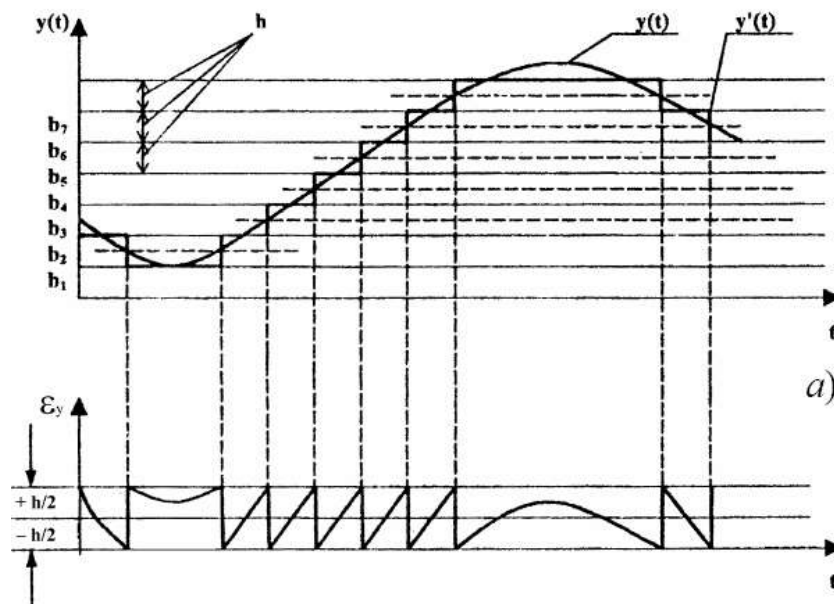


Рис. 2.1 – Квантування за рівнем

Аналогічно квантуванню за рівнем відбувається квантування за часом, під яким розуміється дискретизація за часом, тобто заміна безперервного в часі сигналу дискретним. Процес квантування показаний на рис.2.2 а. Він полягає в наступному: горизонтальна вісь часу ділиться на інтервали, що віддалені один від одного на однаковий інтервал квантування T_0 . Далі проводяться вертикальні лінії до перетину із квантованим безперервним сигналом (функцією $y(t)$). У точках перетину визначаються значення функції $y(t_i)$, які зберігаються протягом інтервалу квантування T_0 (до найближчого перетину функції $y(t)$ з вертикальною

лінією). Таким чином, утворюється дискретна за часом функція $y'(t)$. Різниця між значеннями функцій $y(t)$ і $y'(t)$ дає значення похибки квантування за часом ε_t (рис.2.2 б).

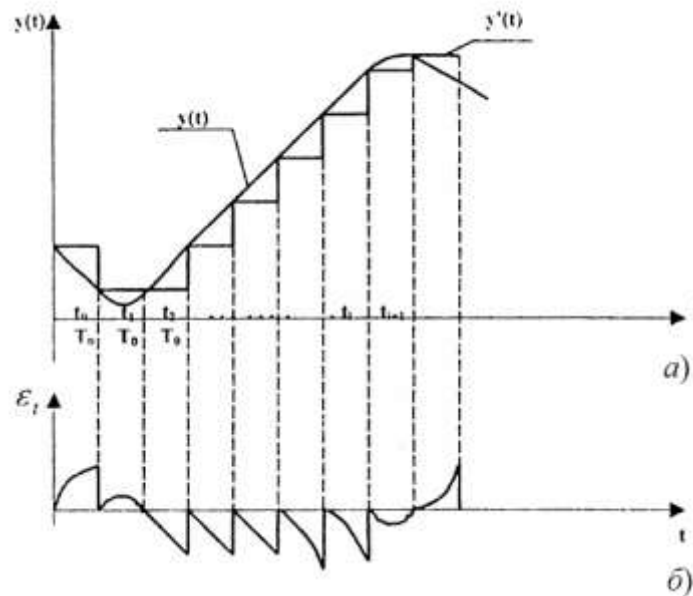


Рис. 2.2 – Квантування за часом

У реальних системах при перетворенні аналогового сигналу в цифровий відбувається одночасне квантування, як за рівнем, так і за часом. На рис.2.3 представлено процес квантування безперервного сигналу $y(t)$ із кроком квантування за рівнем h і із кроком дискретизації за часом T_0 . У результаті цього безперервний сигнал замінюється (апроксимується) дискретним сигналом.

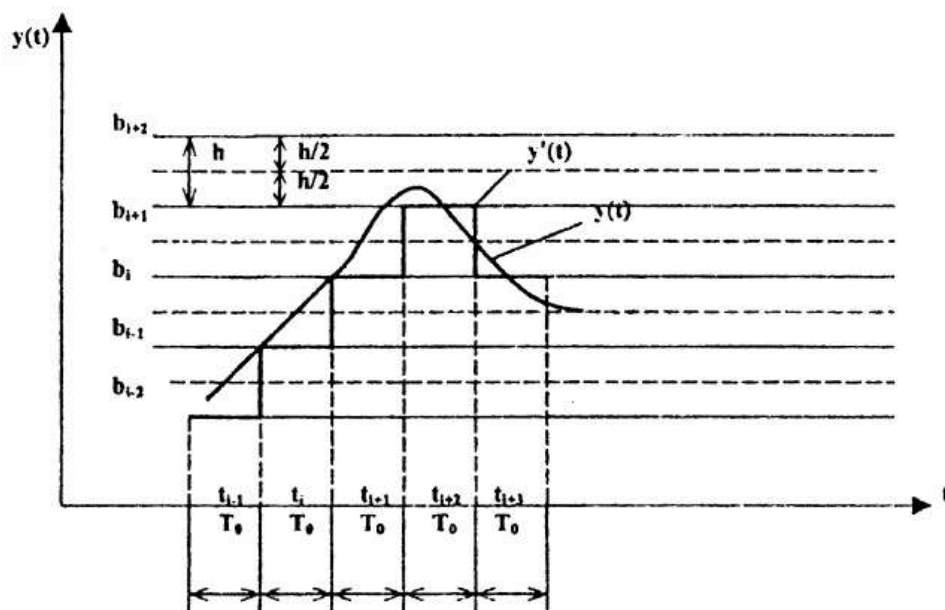


Рис. 2.3 – Квантування за рівнем та часом

Таким чином, процес перетворення аналогового сигналу в цифровий складається із трьох етапів:

1. квантування за рівнем,
2. квантування за часом,
3. кодування рівня.

Кодування рівня полягає в оцінюванні кожного рівня квантування еквівалентним числом.

Похибка квантування за рівнем

Ця похибка є випадковою величиною ε_y , рівною різниці між фактичним значенням величини $y(t_i)$ і найближчим рівнем квантування (рис.2.3 і рис.2.1б). Як було зазначено вище, випадкова величина може характеризуватися своїм максимальним значенням:

$$\varepsilon_{y \text{ макс}} = h/2 \quad (2.1)$$

або середньоквадратичним значенням $[\varepsilon_y]_{\text{скв}}$.

Квадрат середньоквадратичного значення дорівнює математичному очікуванню квадрата випадкових різниць:

$$[\varepsilon_y]_{\text{скв}}^2 = M[\varepsilon_y^2],$$

Приймаючи розподіл випадкової величини ε_y у межах будь-якого кванта рівномірним одержимо, величину середньоквадратичної помилки квантування:

$$[\varepsilon_y]_{\text{скв}} = \frac{h}{2\sqrt{3}} = \varepsilon_{y \text{ макс}} / \sqrt{3}$$

Отже, максимально приведена похибка квантування за рівнем:

$$\delta_{k \text{ макс} \%} = \frac{(\varepsilon_y)_{\text{макс}}}{h \cdot N_k} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot \frac{100\%}{N_k} \quad (2.2)$$

Середньоквадратична приведена похибка за рівнем:

$$\delta_{\text{ускв}\%} = \frac{(\varepsilon_y)_{\text{скв}}}{h \cdot N_k} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot \frac{100\%}{\sqrt{3} \cdot N_k}.$$

Число рівнів квантування N_k визначається розрядністю кодіваних сигналів, а саме — числом інформаційних розрядів кодового слова m :

$$N_k = 2^m \quad (2.3)$$

Величина m визначається з виразу (2.3) по заданій величині наведеної похибки квантування за рівнем (2.2). Тривалість між відліком кожного параметра ТВ, дорівнює кроку дискретизації T_0 , визначається тривалістю циклу передачі багатоканальної системи ТВ (рис.2.4).

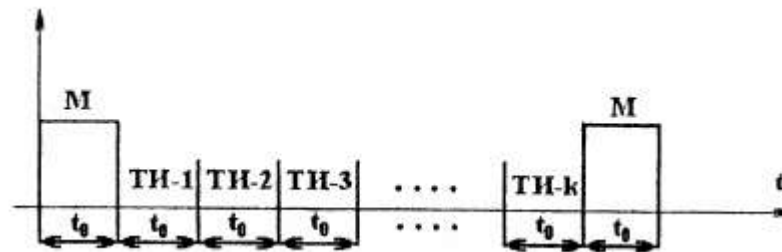


Рис.2.4 – Цикл передачі телевимірювань

Цикл передачі складається з маркеру синхронізуючого слова, – M і K кодіваних слів, де K – число каналів, звичайно рівне числу параметрів ТВ, що підлягають передачі. Якщо по тривалості маркерний імпульс дорівнює часу передачі ТВ по одному каналу, то тривалість циклу:

$$T_0 = (k+1) \cdot t_0,$$

де t_0 – тривалість передачі кодового слова, що відповідає одному телевимірюванню.

$$T_0 = (m + k) \tau_0,$$

де m і k — число інформаційних і контрольних розрядів у кодовому слові, τ_0 – тривалість передачі одного розряду (біта) кодового слова. Тривалість елементарного сигналу (біта) – τ_0 – визначається шириною частотного спектра в каналі зв'язку, видом і способом модуляції. У

найпростішому випадку наближену величину можна визначити по формулі:

$$\begin{aligned}\tau_0 &= K / \Delta F, \text{ для амплітудної модуляції,} \\ \tau_0 &= 2K / \Delta F, \text{ для частотної модуляції.}\end{aligned}$$

де ΔF — пропускна смуга фільтрів у Гц, K — коефіцієнт, що залежить від припустимої величини викривлення форми переданих імпульсів ($K \approx 3 \div 5$).

Потім величину τ_0 необхідно округлити до величини, що забезпечує стандартну швидкість передачі інформації $f_0 = 50; 100; 600; 1200; 2400; 4800; 9600$ бод [біт/с], де

$$f_0 = 1 / \tau_0$$

3.3 Модуляція

Передача інформації здійснюється сигналами, які, по суті, є її матеріальним носієм. У ряді випадків сформовані сигнали неможливо передати по обраній лінії зв'язку або по наданому каналу зв'язку через неузгодженість характеристик сигналу з характеристиками лінії (і каналу) зв'язку. Одним з методів, що дозволяють все-таки передавати без викривлення інформаційні (первинні) сигнали по обраній лінії або заданому каналі зв'язку, є модуляція.

Модуляція – це процес зміни параметрів деякого «переносника» інформації під дією переданого первинного або закодованого сигналу, тобто сигналу, який несе (містить) інформацію.

У якості переносника можуть використовуватися гармонійні коливання (змінний струм або напруга змінного струму), імпульсні коливання (звичайно прямокутної форми), електромагнітні коливання або постійний струм. Таким чином, модуляція є спосіб перетворення первинних сигналів у сигнали іншої форми з іншими характеристиками, що дозволяють передавати ці сигнали на значні відстані по обраним лініям (і каналам) зв'язку. Сигнал, що є результатом модуляції, називається **модульованим**, а сигнал, під дією якого змінюється той або інший параметр переносника, називають **модулюючим**. Роль сигналу, що модулює, можуть виконувати сигнали з виходів датчиків, наприклад з датчиків вимірювальної інформації або закодовані сигнали. Очевидно, що модульований і модулюючий сигнали повинні нести одну і ту ж кількість інформації, а сам процес модуляції не повинен спотворювати інформацію.

Залежно від виду переносника розрізняють види модуляції. Прийнято розрізняти безперервну модуляцію й імпульсну модуляцію. При

безперервній модуляції переносником служать гармонійні коливання (змінний струм, напруга або електромагнітні коливання) або постійний струм. Найчастіше, у цифрових системах передачі інформації, переносником є змінний струм (напруга).

При імпульсних видах модуляції переносником є періодичні послідовності імпульсів прямокутної форми. Залежно від параметра переносника, який змінюється під дією сигналу, що модулює, розрізняють наступні види модуляції.

1. Безперервні види модуляції:

а) амплітудна (АМ); б) частотна (ЧМ) і в) фазова (ФМ). Відповідно в змінного струму змінюється або амплітуда, або частота, або фаза коливань; інші ж параметри переносника залишаються незмінними.

2. Імпульсні види модуляції:

а) амплітудно-імпульсна (АІМ); б) широтно-імпульсна (ШІМ); в) частотно-імпульсна (ЧІМ); г) фазоімпульсна (ФІМ); д) кодоімпульсна або імпульсно-кодова (ІКМ).

3.3.1 Амплітудна модуляція гармонійних коливань (АМ)

Розглянемо види безперервної модуляції, коли переносником є гармонійні коливання. Ці види найбільш часто застосовуються і прості для розуміння.

При амплітудній модуляції під дією модулюючого сигналу міняється амплітуда переносника (несучої), тоді як частота і фаза коливань залишаються незмінними. Розглянемо найпростіший випадок – модуляцію гармонійним сигналом («чистим тоном»). Припустимо, що переносник описується наступним виразом:

$$U_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t), \quad (1)$$

а модулюючий сигнал, виразом

$$U_\Omega(t) = U_\Omega \cos(\omega_\Omega t), \quad (2)$$

Тоді сигнал АМ можна описати залежністю:

$$U_{AM}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t) + U_\Omega \cos(\omega_\Omega t) \cdot \cos(\omega_0 t) \quad (3)$$

або, заміняючи добуток косинусів відомим у тригонометрії виразом, остаточно отримаємо:

$$U_{AM}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t) + 0,5U_0 \cdot m_A \cdot \cos((\omega_0 + \omega_\Omega) \cdot t) + 0,5U_0 \cdot m_A \cdot \cos((\omega_0 - \omega_\Omega) \cdot t)$$

де U_0 – початкове значення амплітуди переносника; U_Ω – амплітуда модулюючого сигналу; $\omega_0 = 2\pi/T_0$ – кутова частота переносника, а T_0 – період коливань переносника (несучої частоти); $m_A = U_\Omega / U_0$ – постійний коефіцієнт, який називають глибиною модуляції. Глибина модуляції є одним з основних параметрів АМ; $\omega_\Omega = 2\pi/T$ – кутова частота модулюючого сигналу.

Основними умовами здійснення правильної амплітудної модуляції є

$$\omega_0 \ll \omega_\Omega \quad (4)$$

$$m_A = U_\Omega / U_0, \quad m_A \leq 1 \quad (5)$$

тобто частота несучої повинна бути в багато разів (5...10) більше частоти модулюючого сигналу, а глибина модуляції – менше або дорівнює одиниці. Процеси амплітудної модуляції ілюструються тимчасовими діаграмами, наведеними на рис. 3.1. Огинаюча амплітуди коливань повністю повторює форму, що модулює сигнал $U_\Omega(t)$.

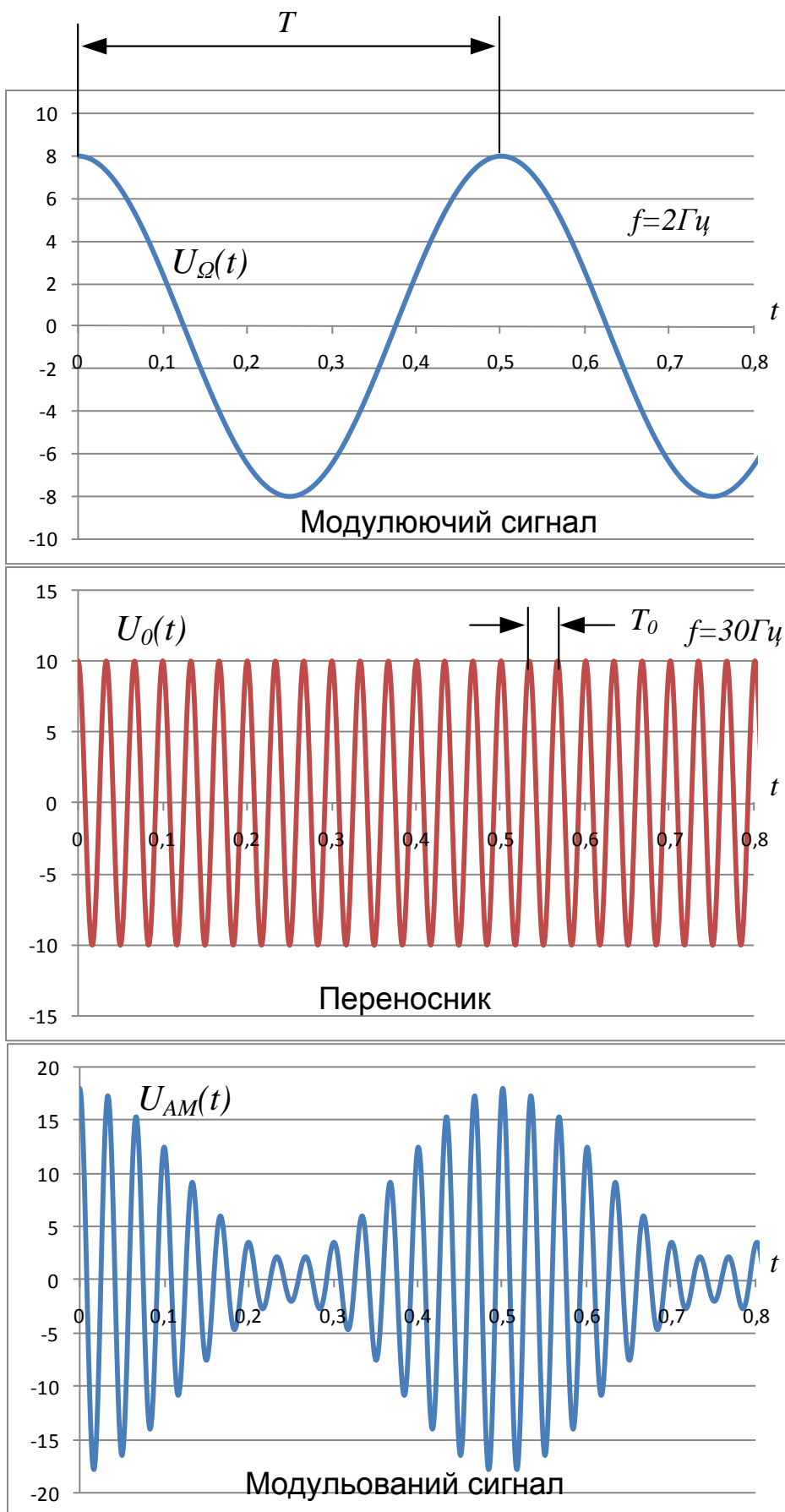


Рис. 3.1 – Амплітудна модуляція гармонічних сигналів

Слід зазначити, що при амплітудній модуляції існує можливість роздільної модуляції позитивних значень (півхвиль) амплітуди коливань і негативних значень (півхвиль) і, таким чином, на одній несучій організувати одночасну передачу двох інформаційних сигналів. Такий вид амплітудної модуляції одержав назву полярної АМ.

3.3.2 Частотна й фазова модуляція сигналів (ЧМ і ФМ)

При частотній модуляції під дією модулюючого сигналу змінюється частота переносника, а при фазовій модуляції – фаза коливань переносника. Амплітуда ж переносника залишається незмінною, а при фазовій модуляції і частота переносника повинна залишатися незмінною. Розглянемо приклади модуляції «чистим тоном», тобто коли модулюючий сигнал є гармонійним.

В окремому випадку, коли амплітуда сигналу, що модулює, умовно дорівнює одиниці, його можна описати виразом

$$U_{\Omega}(t)=1 \cdot \cos(\omega_{\Omega}t).$$

Тоді частоту переносника можна визначити за виразом

$$\omega=\omega_0+\Delta\omega_0 \cdot \cos(\omega_{\Omega}t),$$

а фазовий кут – виразом

$$\varphi=\Delta\varphi \cdot \sin(\omega_{\Omega}t).$$

Якщо переносник описується залежністю виду

$$U(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi),$$

то сигнал ЧМ – $U_{\text{ЧМ}}(t)$ і сигнал ФМ – $U_{\text{ФМ}}(t)$ можна описати виразами:

$$\begin{aligned} U_{\text{ЧМ}}(t) &= U_0 \cos(\omega_0 t + m_f \cdot \sin \omega_{\Omega} t) \\ U_{\text{ФМ}}(t) &= U_0 \cos(\omega_0 t + \Delta \varphi \cdot \sin \omega_{\Omega} t) \end{aligned} \quad (6)$$

де ω_0 – початкове значення частоти переносника, $\Delta \omega_0$ - максимальне відхилення частоти переносника від початкового значення, яке називається девіацією частоти. Це – один з основних параметрів ЧМ. У свою чергу, девіація частоти чисельно рівна:

$$\Delta \omega_0 = 2\pi / f_{\text{дев}},$$

де $f_{\text{дев}}$ – частота девіації, що визначається у герцах;

$$m_f = \Delta \omega_0 / \Omega,$$

коефіцієнт, що називається індексом частотної модуляції; Ω – кутова частота модулюючого сигналу; $\Delta \varphi = m_\varphi$ – девіація фази, тобто максимальне відхилення фази від початкового значення, і, у те ж саме час, індекс фазової модуляції

Діаграми сигналів, що ілюструють процеси частотної і фазної модуляції переносника, наведені на рис. 3.2 і на рис. 3.3, відповідно.

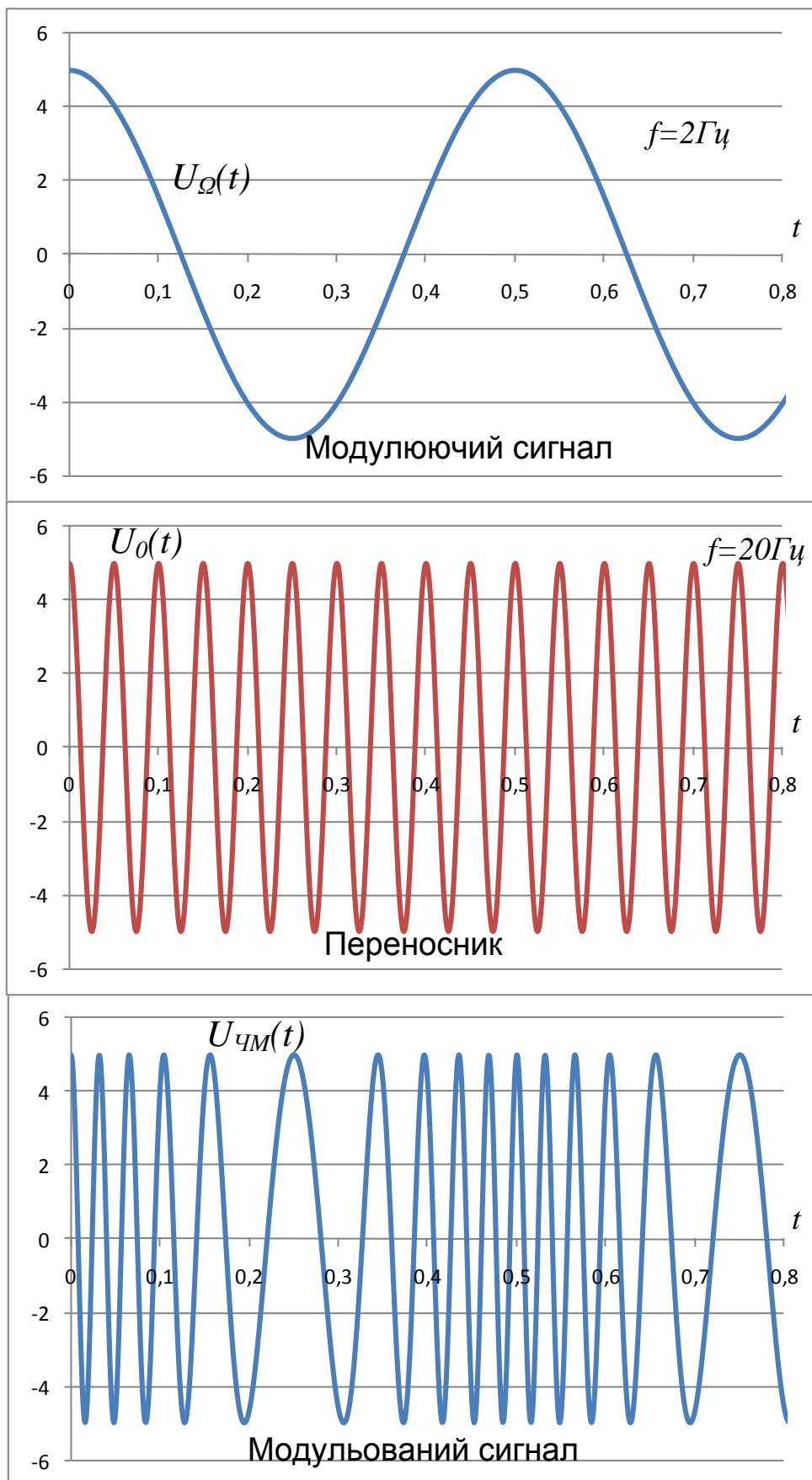


Рис. 3.2 – Частотна модуляція гармонічних сигналів

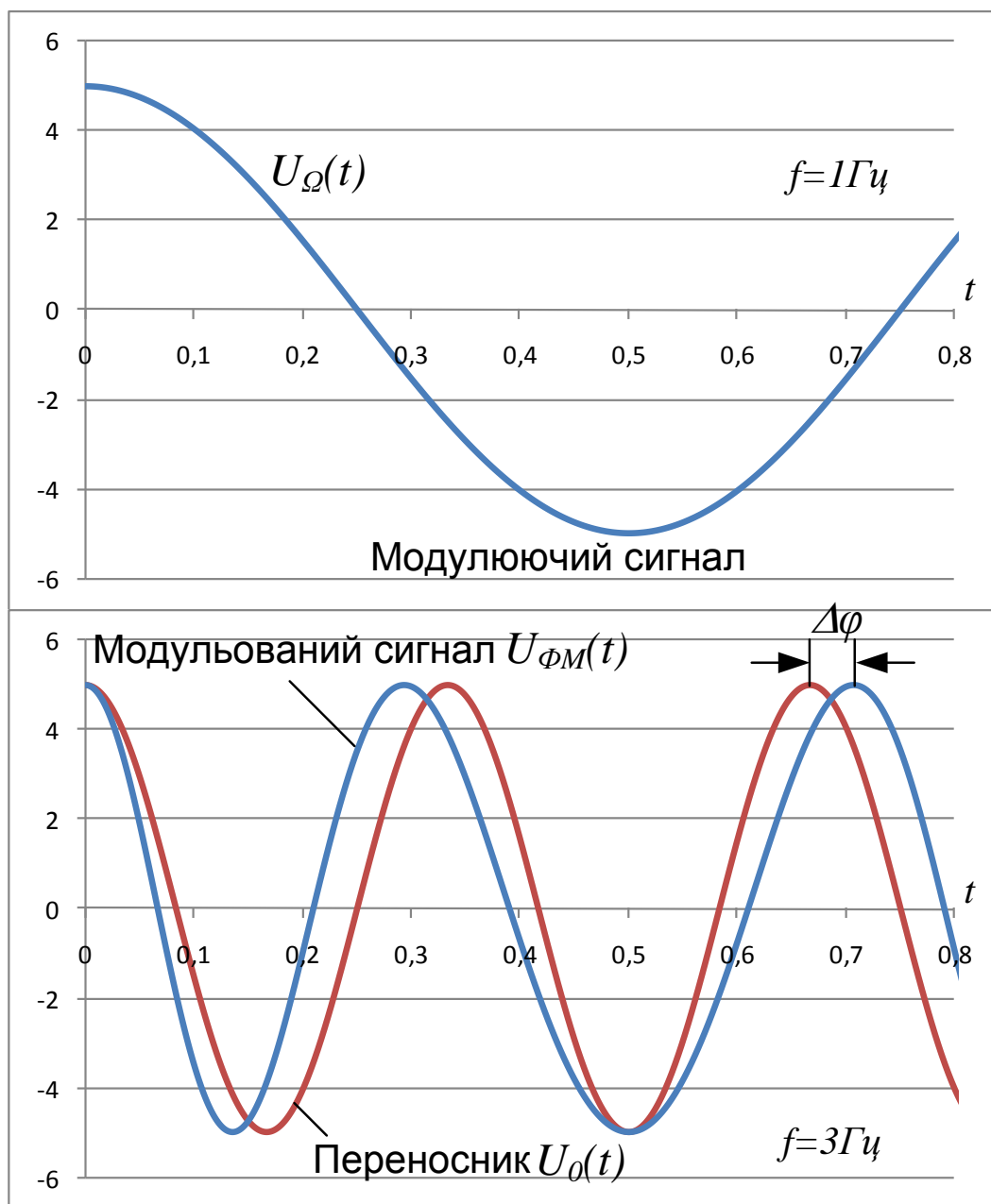


Рис. 3.3 – Фазна модуляція гармонічних сигналів

3.4 Кодування інформації для уникнення помилок

3.4.1 Основні параметри

Зазвичай під «параметром» розуміють кількісну оцінку деякої фізичної величини або залежності (функції), що вводиться в конкретних обставинах для порівняльної оцінки величин і функцій. Стосовно до кодів параметрами є:

- *Довжина кодових комбінацій* (кодових слів) - **n**, чисельно рівна загальному числу елементів, з яких формуються комбінації. Довжині (n) кодових слів однозначно відповідає число елементів закодованого сигналу.

- *Основа коду* (або алфавіт коду) - **m**, обумовлене як повна множина значень, які може мати (набувати) елемент коду.

До основних характеристик коду відносять:

- *Потужність коду* – **N**, обумовлена як повна множина (число) комбінацій, які можна скласти за правилами розглянутого коду. Потужність коду залежить від довжини кодових комбінацій і основи коду. Інакше кажучи, *потужність коду* – це максимальне число дозволених комбінацій даного коду. Потужність визначає кількість інформації (і розмірність масиву інформації), яку можна закодувати й передати обраним кодом.

$$N = m^n \quad (1)$$

- *Надмірність коду* – **D**, вона показує, яка частина елементів кодових слів (комбінацій) не бере участь у передачі інформації, а служить лише для її "захисту" від перешкод. Надмірність визначається за виразом

$$D = \frac{n - n_0}{n} = \frac{k}{n}, \quad (2)$$

де n – довжина кодових комбінацій розглянутого коду; n_0 – число інформаційних елементів цього коду; k – число контрольних (перевірочних) елементів, що не беруть участі у передачі інформації.

Коди можуть бути надмірними ($k \neq 0$) і достатніми ($k = 0$) і відповідно $D = 0$. У достатніх кодах усі елементи є інформаційними, тому викривлення під дією перешкод інформаційного елемента приведе до викривлення інформації та, як наслідок, до можливості трансформації переданого повідомлення.

- Мінімальна кодова відстань або відстань Хемінга – d .

Мінімальна кодова відстань – це число мінімальних відмінностей двох будь-яких дозволених комбінацій розглянутого коду під час їхнього поелементного порівняння і повному попарному переборі всіх комбінацій.

Відстань Хемінга визначає властивості коду щодо можливості виявлення і виправлення помилок, тобто вона дозволяє визначити, скільки помилок можна виявити, а скільки помилок можна виправити під час декодування. Мінімальну кодову відстань d можна розрахувати по формулі

$$d = s + r + 1 \text{ при } r \geq s \quad (3)$$

де s – число помилок, які виправляються; r – число помилок, які виявляються.

З формули (3) випливає, якщо код не дозволяє ні виявляти, ні виправляти, жодної помилки, то мінімальна кодова відстань дорівнює одиниці. А щоб виправити одиночну помилку, потрібен код з мінімальною відстанню $d = 3$.

Задати деякий код - означає задати (визначити) правила, по яких формуються комбінації розглянутого коду. Ці правила можна

сформулювати природною мовою у вигляді деяких дій, виконання яких закінчується одержанням повної множини дозволених комбінацій.

Звичайно всі процедури одержання кодових комбінацій оформляють у таблиці, яка називається *таблицею кодування*. Таким чином, таблиці кодування є один зі способів завдання кодів, коли код визначений повною множиною кодових слів.

3.4.2 Коди без виявлення помилок

Такі коди мають мінімальну кодову відстань, рівну одиниці. Загальною властивістю всіх кодів розглянутої групи буде *неминуча трансформація переданого повідомлення навіть при виникненні одиночної помилки*. Помилки ж виникають під дією перешкод, що не відрізняються від параметрів переданого сигналу. Оскільки перешкоди носять випадковий характер, то помилки також випадкові.

Другою загальною властивістю є те, що *ніяких обмежень на формування кодових комбінацій з n елементів з t значеннями (ознаками) не накладається*. Тому використовуються всі можливі комбінації, коди є достатніми, рівнодоступними й мають мінімальне число елементів. По цій же причині вони є ефективними й незавадотійкими.

Природно, що такі коди можуть використовуватися на проміжних ступенях кодування (при утворенні більш складних кодів) або для передачі інформації з каналів зв'язку без перешкод.

3.4.3 Двійкові достатні коди. Кодування

Ці коди мають в основі число 2 ($m = 2$). Кожний елемент коду може набувати умовні значення 0 і 1. Усі елементи є інформаційними ($n = n_0$). Згідно з виразом (1) потужність коду можна розрахувати по формулі

$$N = 2^n \quad (4)$$

Для побудови пристроїв кодування двійковими достатніми кодами використовуються наступні процедури кодування.

1. По заданій кількості кодованих повідомлень x по формулі (4) розраховується довжина n кодових слів так, щоб $n \geq x$.

2. Будується таблиця кодування, у якій число стовпців дорівнює довжині кодових слів n , а число рядків – потужності коду N або числу кодованих повідомлень x .

3. Усі повідомлення нумеруються десятковими числами, починаючи з нуля, а потім по рядках таблиці записуються двійкові комбінації у вигляді двійкових чисел, що є еквівалентом десяткового номера повідомлення.

Розглянемо для прикладу випадок кодування 8 повідомлень ($M = 8$). Згідно з викладеною методикою, по-перше, визначаємо довжину кодових комбінацій

$$I = \log_2 M = \log_2 8 = 3$$

По-друге, будуємо таблицю кодування (див. табл. 1). Для цього всі повідомлення нумеруємо десятковими числами, починаючи з нуля, номер повідомлення переводимо в N – розрядне двійкове число (у нашому випадку 3 розрядне) і записуємо його у відповідний рядок таблиці. Таким чином, процедура кодування зводиться до правил переведення десяткових чисел у двійкові.

Таблиця 1 – Двійкові достатні коди

№ повідомлення	Комбінації й елементи коду		
	a_2	a_1	a_0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1

4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Для формалізації процедури кодування представимо двійкове число, що відображає кодову комбінацію у вигляді послідовності $\langle a_2 a_1 a_0 \rangle$, де логічні змінні a_j – відповідають розрядам цього двійкового числа. Причому індекс j є показником ступеня числа 2 (основи системи числення) під час визначення вагового коефіцієнта відповідного розряду числа і одночасно вагового коефіцієнта логічної змінної.

Таким чином, змінній a_0 і, відповідно, першому елементу кодової комбінації буде привласнено ваговий коефіцієнт $2^0 = 1$, другому елементу a_1 - ваговий коефіцієнт $2^1 = 2$, третьому елементу a_2 - коефіцієнт $2^2 = 4$.

3.4.4 Двійкові достатні коди. Декодування

Як було сказано вище, декодування це процедура зворотна кодуванню. У загальному випадку ця процедура зводиться до виконання наступних дій.

1. Прийняту двійкову комбінацію слід перевести в десяткове число і прийняти це число за номер декодованого повідомлення.

2. Сформувані позиційні первинні сигнали, відповідні до декодованих повідомлень.

Щоб результат декодування однозначно відповідав кодуванню, необхідно знати послідовність передачі елементів кодових комбінацій.

Припустимо, що передача ведеться в послідовності, обумовленій таблицею кодування (див. табл. 1). Тоді будь-яку прийняту комбінацію можна представити в наступному виді: $(a_2 a_1 a_0)_i$, де індекс i відповідає десятковому номеру прийнятого повідомлення.

Нехай прийнята комбінація $110_{(2)} \Rightarrow (a_2 a_1 a_0)_i$. Переведемо відповідне до цієї комбінації двійкове число в десяткове. При цьому враховуємо вагові коефіцієнти зміни, що відображають розряди цього двійкового числа. Тоді одержимо $110_{(2)} = 6_{(10)}$. У такий спосіб визначили, що прийняте повідомлення 6.

3.4.5 Коди Грея

Різновидом двійкових достатніх кодів є двійкові рефлексні коди, які також називаються кодами Грея. Ці коди застосовуються в телеметричних системах, а саме в аналого-цифрових перетворювачах, побудованих методом «зчитування комбінацій». Відмінність цих кодів від простого двійкового коду полягає лише в порядку зіставлення кодованих повідомлень кодовим словам. Звичайно яка-небудь вимірювана фізична величина, наприклад напруга змінного струму, змінюється монотонно від меншого значення до більшого, або навпаки. При цьому *двом послідовним значенням цієї фізичної величини (кодованим повідомленням) ставлять у відповідність комбінації, що відрізняються значенням тільки одного елемента*. Таким чином, *коди Грея відрізняються від розглянутого двійкового коду тим, що в комбінаціях коду Грея при «переході» від однієї комбінації до іншої змінюється тільки один елемент*. У той час як у простого двійкового коду можуть мінятися одночасно всі елементи (розряди), наприклад при кодуванні повідомлень 3 і 4 (див. табл. 2).

Кодування кодами Грея дозволяє виключити так звані «помилки зчитування» у відповідних аналого-цифрових перетворювачах. Якщо на приймальній стороні запам'ятовувати попередню комбінацію коду Грея, а потім її порівнювати із прийнятою комбінацією, то можна виявити помилки. Теоретично ж коди Грея по своїх властивостях не дозволяють

виявляти жодної помилки, тому що мінімальна кодова відстань у них дорівнює одиниці.

Таблиця 2 – Код Грея

№ повідомлення	Простий двійковий код			Код Грея		
	a_2	a_1	a_0	b_2	b_1	b_0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	0	1	0
4	1	0	0	1	1	0
5	1	0	1	1	1	1
6	1	1	0	1	0	1
7	1	1	1	1	0	0

Слід помітити, що якщо для кодування інформації використана не повна множина комбінацій достатніх кодів, то з'являється можливість виявлення помилок. Можна «виявити» ті помилки, які приводять до комбінацій, які не використовуються. Ці комбінації вважаються забороненими. У такому випадках говорять, що кодування виконане з надмірністю за повідомленнями.

3.4.6 Двійково-десяткові коди

У телеметричних системах для представлення результатів вимірювань часто використовуються двійково-десяткові коди. Зазвичай кількісна оцінка результатів вимірювань здійснюється числами десяткової системи числення. При цьому результат відображається багаторозрядним десятковим числом, наприклад 987. Двійково-десятковий код утворюється

шляхом заміни десяткової цифри розряду двійковим 4-х розрядним числом.

Отримана в такий спосіб послідовність символів (одиниць і нулів) і буде являти собою комбінацію двійково-десятькового коду. Для наведеного прикладу одержимо послідовність 1001.1000.0111 – це і є комбінація трьохрозрядного двійково-десятькового коду. Таким чином, потужність Двійково-десятькових кодів дорівнює потужності десяткового коду (коду з основою 10). Як видно за формою запису, послідовність нулів і одиниць розбито на тетради (чотири розряди двійкового числа). Кожна тетрада відображає значення десяткової цифри. Множина значень десяткових цифр $\{0, 1, 2, \dots, 9\}$ обмежує число двійкових комбінацій, що відповідають тетрадам. У той час як, маючи 4 двійкових розряди, можна скласти 16 різних комбінацій. Комбінації, відповідні до десяткових чисел 10, 11, 12, 13, 14 і 15, є забороненими.

Двійково-десятькові коди використовуються також у пристроях обробки цифрової інформації як проміжна форма представлення чисел і для керування цифровими індикаторами, що відтворюють десяткові цифри.

3.4.7 Коди з виявленням помилок

Ці коди відносяться до надлишкових кодів, тобто крім інформаційних елементів у кодових комбінаціях є контрольні (перевірочні) елементи, що не приймають участі в передачі інформації, і необхідні тільки для виявлення помилок.

Основною перевіркою, яка покладена в основу формування контрольних елементів у комбінаціях систематичних двійкових кодів, є перевірка на парність/непарність (по одиницях) обраної групи інформаційних елементів. Логічно такі перевірки описуються сумою по

mod 2 обраних інформаційних елементів. Оскільки перевірка на непарність еквівалентна інверсії суми по модулю два (mod 2), коди групи «чіт» мають такі ж властивості, що й коди групи «не чіт», тобто коди «чіт» і коди «не чіт» мають рівні можливості під час виявлення помилок, тому іноді такі коди називають кодами «із захистом по паритету».

Щоб код допускав можливість виявлення хоча б однієї помилки, необхідно вибрати мінімальну кодову відстань не менше двох ($d > 2$). Найпростішим є код з однією перевіркою на парність по всіх інформаційних елементах.

3.4.8 Коди із захистом по паритету (коди «чіт/не чіт»)

Найпростішим способом пошуку множини дозволених комбінацій таких кодів є повний перебір всієї множини комбінацій достатнього двійкового n -елементного коду і вибір таких комбінацій, які містили б парне (непарне) число одиниць. Таких комбінацій буде рівно половина всієї множини комбінацій. Тому потужність кодів чіт/не чіт можна розрахувати по формулі

$$N = 2^n / 2 = 2^{n-1} \quad (5)$$

де n – довжина кодових комбінацій розглянутого коду. У правій частині виразу (5) показник степеня $(n-1)$ можна розглядати як число інформаційних елементів. Отже, число інформаційних елементів (n_0) у будь-якому коді чіт/не чіт можна визначити по формулі

$$n_0 = n - 1 \quad (6)$$

Іншими словами, у комбінаціях розглянутих кодів буде завжди один контрольний елемент.

Процедури кодування зводяться до наступного:

1) будується таблиця кодування повідомлень простим достатнім двійковим кодом із числом інформаційних елементів n_0 ;

2) в отриману по п. 1 таблицю додається одна позиція для контрольного елемента, і йому надаються значення за ознакою парності (або непарності) одиниць на інформаційних позиціях.

Місце розташування (номер позиції) контрольного елемента не має важливого значення.

Розглянемо приклад побудови коду групи «чїт» для кодування восьми повідомлень ($M=8$). Процедуру кодування оформляємо у вигляді табл. 3.

Таблиця 3 – Коди із захистом по паритету

№ повідомлення	Комбінації й елементи коду «чїт»			
	a_2	a_1	a_0	k_0
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

Правий стовпець табл. 3 відведений під контрольний елемент k_0 . Значення його обрані таким чином, щоб у кожному рядку було парне число одиниць.

Порівнюючи між собою попарно комбінації, неважко переконатися, що мінімальна кодова відстань для цього коду рівно двом ($d = 2$). Такий код здатний виявити тільки одну одиночну помилку.

Правила декодування кодів «чіт/не чіт» аналогічні правилам декодування простих двійкових кодів. Відмінність полягає в тому, що, залежно від результату перевірок на парність/непарність, буде накладена заборона або дано дозвіл на видачу результату декодування. Природно, що в названих перевірках беруть участь як інформаційні, так і контрольні елементи прийнятих комбінацій.

Логічний вираз перевірок на парність для розглянутого коду має такий вигляд

$$P = a_2 \oplus a_1 \oplus a_0 \oplus k_0, \quad (6)$$

а на непарність

$$P = a_2 \oplus a_1 \oplus a_0 \oplus k_0 \oplus 1 \quad (7)$$

У формулах (6) і (7) логічним змінним a_2 , a_1 , a_0 , k_0 відповідають інформаційні елементи і відповідно контрольний елемент прийнятої комбінації елементів. Крім того, тому що сума по mod2 набуває значень логічної 1 при непарному числі одиниць, тобто при непарному числі помилок у прийнятій комбінації, то розглянуті коди здатні виявити непарне число помилок. Це за умови, що результат декодування буде зафіксований після того, як усі елементи кодової комбінації будуть прийняті. Якщо ж елементи комбінації надходять послідовно в часі, то при двох і, взагалі, парному числі помилок передане повідомлення буде трансформовано.

Наприклад, допустимо, що передавалося повідомлення $5 \Rightarrow \langle a_2, a_1, a_0, k_0 \rangle \Rightarrow 1010$ (див. табл. 3). А на прийомній стороні зафіксована

комбінація $\langle a_2, a_1, a_0, k_0 \rangle \Rightarrow 1110$, тобто помилка виникла в елементі a_1 . Порівнюючи отриману комбінацію з дозволеними комбінаціями (табл. 3), доходимо висновку, що вона не збігається з жодною з дозволених комбінацій розглянутого коду. Отже, прийнята комбінація з помилкою. Аналогічно, якщо провести перевірку парності по виразу (11), те одержимо

$$P = a_2 \oplus a_1 \oplus a_0 \oplus k_0 = 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1,$$

т.е. перевірка порушена. У цьому проявляється факт виявлення помилок.

Розглянемо інший приклад.

Допустимо, що передавалася комбінація (3, див. табл. 3), а прийнята й зафіксована комбінація

$$\langle a_2, a_1, a_0, k_0 \rangle \longrightarrow 1100$$

Порівнюючи отриману комбінацію з дозволеними комбінаціями табл. 3, зауважуємо, що вона не відрізняється від комбінації 6. Отже, відбудеться трансформація повідомлення 3 у повідомлення 6. Помилки виникли в елементах a_2 і a_0 : $a_2 = 0 \longrightarrow 1$ і $a_0 = 1 \longrightarrow 0$.

Аналогічно перевірка P за формулою (6) дає

$$P = a_2 \oplus a_1 \oplus a_0 \oplus k_0 = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 0,$$

і буде даний дозвіл декодеру на декодування комбінації $\langle a_2 a_1 a_0 \rangle \Rightarrow 110$. На його виході з номером 6 з'явиться сигнал активного рівня (логічний 0). У цьому проявляється факт трансформації повідомлення.

3.4.9 Коди на одну комбінацію (коди з рівною «вагою»)

Якщо з множини комбінацій двійкового достатнього коду вибрати комбінації, містять постійне число одиниць (або нулів), то одержимо код, який називається кодом з постійною «вагою». (Число одиниць у двійкових комбінаціях прийнято називати «вагою» комбінації.) Ці коди в якості дозволених, використовують тільки комбінації однієї ваги і відносяться до комбінаторних кодів. Потужність таких кодів можна розрахувати по формулі

$$N = C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (8)$$

де n – довжина кодових комбінації; k – число одиниць у комбінації. Рекомендується число k вибрати таким чином, щоб одержати максимальне число N . Це буде за умови, що $k = n/2$ при n парному, і $k = (n \pm 1)/2$, якщо n – непарне число. Допустимо, що є 5 двійкових елементів ($n = 5$), і потрібно знайти повну множину дозволених комбінацій коду на одну комбінацію. Виберемо $k = 2$, тоді по формулі (8) одержимо

$$N = C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}{(1 \cdot 2) \cdot (1 \cdot 2 \cdot 3)} = 10,$$

тобто комбінацій, що вміщують по дві одиниці буде десять.

Для одержання цих комбінацій необхідно з множини двійкових 5-и розрядних чисел вибрати такі, у яких тільки у двох розрядах були б одиниці, і скласти таблицю кодування (див. табл. 4).

Таблиця 4 – Таблиця кодування кодом з рівною вагою « з 5 по 2 »

№ повідомлення	Комбінації й елементи коду
----------------	----------------------------

	c ₄	c ₃	c ₂	c ₁	c ₀
1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0
3	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	1
5	0	1	0	0	1
6	0	0	1	0	1
7	0	0	0	1	1
8	0	1	1	0	0
9	0	1	0	1	0
10	0	0	1	1	0

З аналізу наведених у табл. 4 комбінацій, можна переконатися, що мінімальна кодова відстань для розглянутого коду рівно двом ($d=2$). Отже, такий код гарантовано виявить одну помилку.

Якщо в прийнятій комбінації буде зафіксовано більше або менше число одиниць, то таку комбінацію слід вважати забороненою і запобігти її декодуванню.

Отже, коди з рівною вагою (на одну комбінацію) дозволяють виявити k помилок типу $1 \rightarrow 0$, тобто одиниця перетвориться в нуль – це помилки типу «знищення» елемента, і $(n - k)$ помилок типу $0 \rightarrow 1$ (помилки типу «відтворення» елемента). У той же саме час, дві помилки типів $0-1$ і $1-0$ трансформують передане повідомлення.

Як було сказано вище, щоб деякий код дозволяв виправляти помилки, потрібно передбачити мінімальну кодову відстань, рівну трьом ($d=3$). Найпростішими є коди, що виправляють одиночні помилки.

3.4.10 Коди Хемінга

Правила кодування (і декодування) були запропоновані й розроблені англійським ученим Хеммінгом (Hamming R.W.). У його честь коди й одержали таку назву. Мінімальна кодова відстань для цих кодів рівна $d = 3$ або $d = 4$. Тому відповідно до формули $d = s + r + 1$, де $r > s$, такі коди здатні виправляти одиночні помилки ($s = 1$).

Код Хемінга з $d = 4$ додатково дозволяє виявити другу помилку або, не виправляючи ні однієї, виявити 3 помилки (трикратні помилки). Код з $d = 3$ при невикористанні процедур виправлення дає можливість виявити дві помилки.

Слід зазначити, що коди Хемінга ставляться до систематичних двійкових кодів, у яких позиції інформаційних і контрольних елементів строго фіксовані. Так, для обраного як приклад коду довжина кодових комбінацій (слів) рівна шести ($n = 6$), число інформаційних (n_0) і число контрольних (k) елементів рівно відповідно 3.

Процедурами кодування передбачається роздільне формування комбінацій інформаційних і комбінацій контрольних елементів. Комбінації з інформаційних елементів представляють повну множину комбінацій простого двійкового достатнього коду, а комбінації контрольних елементів відшукуються як результат перевірок на парність певним чином обраних інформаційних елементів. Процедури кодування так само оформляють таблицею кодування. Для розглянутого коду таблиця кодування має вигляд (табл. 5):

Таблиця 5 – Елементи й комбінації коду Хемінга з $d = 3$

№ повідомлення	k_1	k_2	a_2	k_3	a_1	a_0
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0

1	0	1	0	1	0	1
2	1	0	0	1	1	0
3	1	1	0	0	1	1
4	1	1	1	0	0	0
5	1	0	1	1	0	1
6	0	1	1	1	1	0
7	0	0	1	0	1	1

Згідно із процедурами кодування позиції з номерами «1», «2» і «4» приділяються під контрольні елементи k_1 , k_2 , k_3 , а позиції «3», «5» і «6» будуть інформаційними. На інформаційних позиціях розміщуються комбінації 3–елементного достатнього коду. Це відповідні кодованим повідомленням комбінації інформаційних елементів a_2 , a_1 , a_0 . Вони в таблиці виділені жирним шрифтом. Вище вже було сказано, що перевірки на парність описуються логічною операцією «сума по mod 2» (символ \oplus).

Якщо розглядати таблицю кодування (див. табл. 5) як таблицю істинності для логічних функцій, а за функції прийняти контрольні елементи (і змінні) кодових комбінацій, то можна скласти за ознакою парності наступну систему логічних виражень, що визначають значення цих функцій. Для аналізованого коду ця система має вигляд

$$k_1 = a_1 \oplus a_2; k_2 = a_0 \oplus a_2; k_3 = a_0 \oplus a_1. \quad (15)$$

Підставляючи у вираження (15) замість інформаційних змінних їхнього значення (0 або 1), можна обчислити (одержати) значення відповідних контрольних елементів і тим самим знайти їхню комбінацію.

Так, для розглянутих як приклад кодів Хемінга «закріплена» наступна послідовність (див. табл. 5):

Елемент	k_1	k_2	a_2	k_3	a_1	a_0
Номер	1	2	3	4	5	6

Можна організувати передачу в іншій послідовності, наприклад, спочатку передавати інформаційні, а потім контрольні елементи

$$\langle a_2 a_1 a_0 k_1 k_2 k_3 \rangle,$$

однак при цьому за елементами залишаються закріпленими номери: a_2 — \rightarrow №3, a_1 — \rightarrow №5; a_0 — \rightarrow №6 і т.д.

У загальному випадку процедури декодування зводяться до наступного.

1. Прийнята комбінація перевіряється на парність по позиціях згідно з перевірками на парність, і на підставі результатів цих перевірок визначається номер елемента, прийнятого з помилкою.

Якщо жодна з перевірок не порушена (що відповідає правильній передачі), то ухвалюється рішення на декодування комбінації інформаційних елементів.

2. Якщо ж хоча б одна з перевірок порушена, тобто зафіксоване непарне число одиниць і в комбінації є помилки, то формується заборона на декодування й, як наслідок, - захисна відмова від реалізації прийнятого повідомлення. Така дія виконується, коли коди використовуються тільки для виявлення помилок.

3. Процедури виправлення помилок засновані на формуванні за результатами перевірок на парність так званого «перевірочного двійкового числа». Шляхом перекладу двійкового перевірочного числа в десяткове число перебуває номер знакоместа (і елемента), де відбулася помилка. Потім одиночна помилка виправляється й дається дозвіл на декодування комбінації інформаційних елементів.

Розглянемо зазначені процедури на прикладі декодування коду, заданого таблицею кодування (табл. 8).

Приклад 1. Допустимо, що передавалася комбінація 6, а прийнята й зафіксована комбінація виду

$$\langle k_1 k_2 a_2 k_3 a_1 a_0 \rangle 010110.$$

Потрібно визначити, є чи в цій комбінації помилка, і, якщо є, то знайти й виправити її.

Логічні вираження перевірок на парність для розглянутого коду мають такий вигляд:

$$P_0 = k_1 \oplus a_1 \oplus a_2;$$

$$P_1 = k_2 \oplus a_0 \oplus a_2;$$

$$P_2 = k_3 \oplus a_0 \oplus a_1;$$

Їх можна одержати на підставі виражень (15). Результат першої перевірки (P_0) визначає значення першого розряду перевірного числа. Аналогічно два останні вираження в системі (16) визначають значення другого й третього розрядів перевірного числа. Таким чином, перевірене число можна представити наступним записом: $\langle p_2 p_1 p_0 \rangle$.

Підставляючи значення елементів прийнятої комбінації у вираження (16), одержимо

$$P_0 = k_1 \oplus a_1 \oplus a_2 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1;$$

$$P_1 = k_2 \oplus a_0 \oplus a_2 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1;$$

$$P_2 = k_3 \oplus a_0 \oplus a_1 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0.$$

Отже, перевірене число $\langle p_2 p_1 p_0 \rangle \Rightarrow 011_{(2)} = 3$ указує, що помилка відбулася на третій позиції, тобто в елементі a_2 . Тоді виправлена комбінація буде мати вигляд

$\langle k_1 k_2 a_2 k_3 a_1 a_0 \rangle \Rightarrow 011110$, а ця комбінація відповідає повідомленню 6 (див. табл. 5).

Таким чином, одиночна помилка перебуває й виправляється. Однак при двох помилках код Хемінга з мінімальною кодовою відстанню $d = 3$ при спробі виправлення помилок трансформує передане повідомлення. Дійсно, якщо передавалося повідомлення $1 \Rightarrow 010101$, а прийнята комбінація 010110 , то при декодуванні воно буде трансформовано в повідомлення 6.

Відмінності кодів Хемінга з $d = 4$ від розглянутого коду в тому, що наведені в табл. 8 комбінації доповнюються ще одним контрольним елементом. Значення цього елемента визначаються перевіркою на загальну парність по всіх попередніх позиціях. Наявність цього додаткового контрольного елемента й відповідної перевірки при декодуванні дозволяє виявляти дві помилки, і трансформації повідомлень не відбувається.

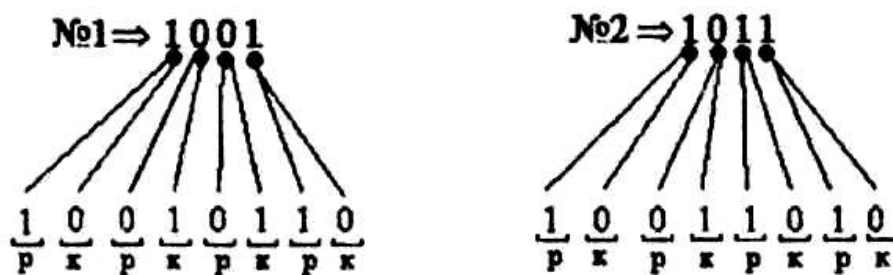
Коди Хемінга використовуються для кодування щодо невеликих масивів інформації, коли число повідомлень обмежене (у межах до 1,5 – 2 тис.). Прикладом таких систем можуть служити телемеханічні системи телекерування–телесигналізації й телеметричні системи.

3.4.11 Кореляційні коди

Ідея одержання комбінацій кореляційного коду заснована на повторній передачі кодової комбінації деякого коду, називаного основним кодом.

Таким чином, потужність кореляційного коду дорівнює потужності основного коду. У якості основного коду можна вибрати будь-який двійковий код, тобто код з будь-якою мінімальною кодовою відстанню, і в тому числі двійковий достатній код. Розглянемо, яким образом формуються комбінації кореляційного коду (процедура кодування).

Допустимо, що в якості основного обраний двійковий 4-елементний достатній код. От його дві комбінації: №1 \Rightarrow 1001 і №2 \Rightarrow 1011. Для утвору комбінацій кореляційного коду кожний елемент основної комбінації відображається двома елементами, розташованими на «робочій» і «контрольній» позиціях відповідно. На мал. 3.10 показана схема формування комбінацій кореляційного коду, відповідних до обраних комбінацій основного коду.



Як видно за схемою, комбінація на контрольних позиціях (позначені буквами " до") є інверсною комбінації на робочих позиціях, позначених буквою "р". Комбінація ж на робочих позиціях збігається з комбінацією основного коду. Якщо обрані комбінації №1 і №2 відрізняються значенням одного елемента, тобто перебувають на відстані одного кодового переходу, то отримані комбінації кореляційного коду відрізняються вже значеннями двох елементів, тобто мінімальна кодова відстань рівна двом кодовим переходам. Крім того, комбінації кореляційного коду мають удвічі більше елементів у порівнянні з комбінаціями основного коду.

Тому що мінімальна кодова відстань кореляційного коду збільшується вдвічі щодо мінімальної кодової відстані основного коду, те кореляційний код здобуває нові властивості в частині виявлення й виправлення помилок.

Зокрема, кореляційний код з мінімальною відстанню $d = 6$, що полягає з 12 елементів і отриманий дворазовою передачею комбінацій коду Хемінга з $d = 3$, дозволить виправити подвійні помилки й виявити три помилки. Такий вивід цілком узгодиться з тим, що при однократній

передачі можна виправити одну помилку, а дві помилки трансформують передане повідомлення.

Декодування кореляційних кодів полягає у виконанні наступних процедур: 1) декодування комбінацій основного коду; 2) зіставлення результату декодування комбінацій на робочих позиціях з результатом декодування комбінації на контрольних позиціях; 3) ухвалення рішення «дозвіл/заборона» на видачу результату декодування.

Кореляційні коди дозволяють виявляти всі помилки, які приводять до появи однакових значень елементів на робітників і «спарених» з ними контрольних позиціях. У такому варіанті кореляційні коди використовуються тільки для виявлення помилок. Максимальна кратність помилок, що виявляються, для розглянутого кореляційного коду на основі коду Хемінга з $d = 3$ буде рівна шести.

Канальный уровень передачи данных обеспечивает прием, преобразование и управление обслуживающими функциями передачи, необходимыми для более высоких уровней.

Непрерываемая процедура передачи кадра контролируется своевременно. Сообщение об успешной передаче или ошибках передается на более высокий уровень вместе с сообщением о состоянии каналов связи и аппаратуры. В частности, выполняются следующие функции:

- обеспечение доступа к тракту передачи;
- задание последовательности кадрам сообщений и расшифровка этой последовательности;
- добавление или устранение маркеров кадра, если эта функция не выполняется в блоке сопряжения с линией;
- обнаружение ошибок синхронизации кадра;
- обнаружение ошибок размера кадра;

- контроль искажений сигнала, если эта функция не выполняется в блоке сопряжения с линией;
- определение кадров, адресованных вызываемой станции;
- предупреждение передачи со станции без необходимых интервалов;
- защита сообщений от потерь и ошибок в пределах заданной достоверности данных путем формирования кадров с обнаружением ошибки, указанием обнаруженных ошибок и управлением соответствующими процедурами исправления ошибок;
- сообщение об устойчивых ошибках передачи;
- сообщение о состоянии конфигурации линии связи;
- переключение на резервный канал, при необходимости;
- поддержание функций запуска и эксплуатации.

4 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАЧІ ТА ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Основною метою функції зв'язку в процесі керування й контролю – досягнення максимальної системної достовірності, що забезпечує ідентичність між фізичним станом змінних процесу виробництва електричної енергії і їх представленням в базі даних систем телемеханіки. Ця кінцева мета іноді не може бути досягнута повністю, оскільки інформація про стан процесу запізнюється, а зовнішні перешкоди або ушкодження елементів можуть її спотворювати. Система зв'язку повинна забезпечувати високий ступінь узгодженості всієї системи. Тому метод передачі даних повинен мати високу надійність і ефективність, особливо для коротких і термінових повідомлень. Оскільки припустима ширина смуги частот у каналі зв'язку обмежена, то обсяги зібраної та переданої інформації повинні бути чітко регламентовані і приймаються згідно рекомендацій [5].

Відповідно до [5, 6] комунікаційні мережі в енергетиці поділяються на *комунікаційні мережі систем автоматизації управління та систем обліку електроенергії* з відповідними вимогами до інформаційного забезпечення.

4.1 Інформаційне забезпечення систем автоматизації керування

Комунікаційні мережі системи автоматизації керування рекомендується вибирати виходячи із забезпечення енергетичних об'єктів необхідними каналами телефонного зв'язку для потреб оперативно-диспетчерського і виробничо-господарського управління, каналами системної автоматики і релейного захисту, телемеханіки, каналами передачі інформації електронною поштою і телефаксом.

Проектування і упровадження засобів зв'язку повинно здійснюватися на підставі визначення обсягу і потоків інформації для кожного рівня управління.

Передбачувані проектом засоби зв'язку повинні забезпечувати можливість розвитку системи даного рівня на перспективу.

Засоби зв'язку на об'єктах електричних мереж повинні вибиратися з урахуванням вимог надійності і швидкодії.

На підстанціях 110/35/10 кВ, 110/10 кВ і 35/10 кВ передбачається:

- центральна аварійна і попереджувальна сигналізація, яка забезпечує місцеву сигналізацію на підстанції;
- засоби зв'язку, пристрої телемеханіки, імпульсні лічильники електроенергії, а на підстанціях з постійним черговим персоналом – засоби відображення інформації ПЕОМ чергового;
- можливість організації диспетчерського і місцевого зв'язку, диспетчерського контролю устаткування, технологічного контролю споживання електроенергії і, за необхідності, управління комутаційним устаткуванням;
- охоронна сигналізація.

При цьому обсяги засобів системи збирання і передавання інформації повинні прийматися згідно з рекомендаціями [6].

Електропередавальні підприємства та їх структурні підрозділи повинні мати диспетчерські пункти (ДП), оснащені пристроями відображення інформації та комплексом засобів зв'язку, телемеханіки, що забезпечують оперативно-диспетчерський контроль і управління основним устаткуванням, яке знаходиться у безпосередньому оперативному підпорядкуванні диспетчера.

До об'єктів телемеханізації розподільних електричних мереж 6-10 кВ відносяться:

- пункти секціонування (СП) 10 кВ;

- пункти автоматичного введення резерву (АВР);
- розподільні пункти (РП) - 10 кВ;
- закриті трансформаторні підстанції (ЗТП) 10/0,4 кВ;
- вузлові закриті трансформаторні підстанції (ВЗТП) 10/0,4 кВ, у перспективі й споживчі ТП.

Вибір об'ємів телеінформації для оперативно-диспетчерського контролю й керування на ДП РЕС проводиться з урахуванням перспективи розвитку електричних мереж і впровадження прогресивних форм оперативно-технічного обслуговування енергооб'єктів.

Підстанції напругою 35-110 кВ, що оперативно обслуговуються персоналом підприємства ЕС або РЕЭС, телемеханізуються з урахуванням виду оперативного обслуговування: постійне чергування "на дому" або централізоване обслуговування ОВБ ПЕС (РЕС).

В оптимальний об'єм телемеханізації для оперативно-диспетчерського контролю й керування знижувальною підстанцією 35 (110) кВ без постійного оперативного персоналу повинні входити:

- а) телекерування комутаційним обладнанням підстанції;
- б) телесигналізація положення комутаційного обладнання підстанції;
- в) аварійно-попереджувальна телесигналізація (АПТС) в обсязі до 24 сигналів (склад сигналів уточнюється при проектуванні):
 - робота захистів - один загальний сигнал;
 - робота автоматичного повторного включення (АПВ) і автоматичного введення резерву (АВР) - один загальний сигнал;
 - робота автоматичного частотного розвантаження (АЧР) - один сигнал;
 - аварія трансформатора (робота газової й диференціальної захистів на відключення) - один загальний сигнал для всіх трансформаторів;

- несправність трансформатора (перевантаження, робота першого ступеня газового захисту, перегрів, зниження рівня масла) - один загальний сигнал з кожного трансформатора:

- "земля" на шинах 6-10 кВ - один сигнал з кожної секції шин;

- "земля" на шинах 35 кВ - один сигнал з кожної секції шин;

- аварійне відключення вимикачів - один загальний сигнал:

- несправність на підстанції (ушкодження у вторинних ланцюгах, зникнення напруги на підстанції, вихід з ладу джерела електроживлення) - один загальний сигнал;

- охоронна сигналізація - один сигнал;

- втрата напруги на шинах 6-10 кВ - один сигнал з кожної секції:

- пожежа на підстанції - один сигнал (при наявності пристроїв пожежної сигналізації на підстанції);

- сигнал спрацьовування фіксуючих приладів (при наявності приладів);

- г) телевимірювання (циклічні або по викликові):

- струм навантаження або активна потужність на трьох сторонах обмотки триобмоткового трансформатора й однієї сторони двохобмоткового трансформатора;

- струм навантаження або активна потужність, що відходять ПЛ напругою 35 (110) кВ;

- напруга на шинах 35 (110) кВ і 10 кВ;

- показання фіксуючих приладів.

При створенні АСДК РЕС необхідна також передача:

- збільшених обсягів аварійно-попереджувальної телесигналізації (АПТС) відповідно до завдань АСДК;

- телевимірювань струмів навантаження або активної потужності ліній 6-10 кВ;

- показань лічильників енергії ліній, що заживлюють великих споживачів, і лічильників обліку енергії по підстанціях;

- показань лічильників енергії ліній 35 кВ.

Для підстанцій 35-110 кВ із чергуванням вдома можуть бути передбачені (уточнюється при проектуванні):

- телесигналізація положення всіх вимикачів;

- від 3 до 12 загальних сигналів АПТС залежно від типу підстанції;

- телевимірювання, аналогічні п. г).

Лекція №4 Системи телемеханіки.

Системою телемеханіки називається сукупність датчиків і приймачів телемеханічної інформації, приймальнопередаючих пристроїв телемеханіки й каналів передачі інформації.

Системи телемеханіки забезпечують автоматичний обмін інформацією між диспетчерським пунктом (ДП) або пунктом керування (ПК) і контрольованими пунктами (КП) енергопідприємства. При цьому на ДП і на КП установлюються пристрої телемеханіки: симплексні, якщо інформація передається в одному напрямку, наприклад від КП на ДП, або дуплексні, якщо інформація між цими пристроями повинна передаватися в обох напрямках (від КП на ДП і від ДП на КП). Зв'язок між пристроями телемеханіки відповідно забезпечується або симплексним каналом (СКС), або дуплексним каналом зв'язку (ДКС). Канали зв'язку телемеханічних пристроїв називають каналами телемеханіки.

В енергетичних системах за допомогою пристроїв телемеханіки диспетчер має можливість контролювати стан обладнання і режим роботи об'єктів енергосистеми, вчасно одержувати повідомлення про всі зміни, що з'явилися в електричній схемі системи, а в ряді випадків і можливість безпосередньо управляти обладнанням і режимом роботи контрольованих об'єктів.

Наявність систем телемеханіки не тільки значно полегшує роботу диспетчерського персоналу, але й підвищує оперативність і технічний рівень експлуатації енергетичної системи.

По характеру функції системи телемеханіки підрозділяються на:

- а) системи телесигналізації (ТС), що забезпечують передачу із КП на ДП інформації про стан обладнання, що перебуває на КП; за допомогою ТС контролюють положення вимикачів потужності, роз'єднувачів, стан

автоматичних пристроїв, контроль об'єкта й т.д.;

б) системи телевимірювань (ТВ), що передають диспетчеру значення параметрів контрольованих виробничих процесів: струму, напруги, потужності, частоти;

в) системи телекерування (ТК), що забезпечують передачу керуючої інформації з боку ДП (ПК) до виконавчих пристроїв контрольованого об'єкта;

г) система телерегулювання (ТР), що вирішує завдання передачі керуючих команд типу «більше-менше», «збільшити – зменшити» та інших від диспетчера до автоматичного пристрою – регулятора, розташованого на контрольованому об'єкті;

д) системи автоматичного телекерування (АТК), що забезпечують передачу керуючої інформації від автомата до автомата. Прикладом АТК служить система телевідключення, у якій автомат, керуючий роботою вимикача живильної підстанції, одержує команду на вимикання від автомата, розташованого на віддаленій підстанції, яка не має власного вимикача потужності;

е) системи автоматичного телерегулювання (АТР), які забезпечують передачу інформації від автомата, що контролює режим роботи об'єкта, до автомата, розташованого в іншому пункті енергосистеми та керуючого роботою відповідного регулятора;

ж) системи аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС), що представляють собою спрощені системи ТС, які передають обмежену кількість сигналів типу «аварія», «попередження» з контрольованого об'єкта на диспетчерський пункт.

Системи АПС, як правило, виконуються за симплексною схемою, що передбачає передачу інформації тільки в одному напрямку.

Системи ТС і ТВ також можуть бути виконані за симплексною схемою, як і багатофункціональні системи типу ТС - ТВ. Системи ТК й АТК в більшості випадків суміщаються із системами ТС, щоб одержати в ПК інформацію про правильність роботи автоматичних пристроїв, які виконують команди телекерування.

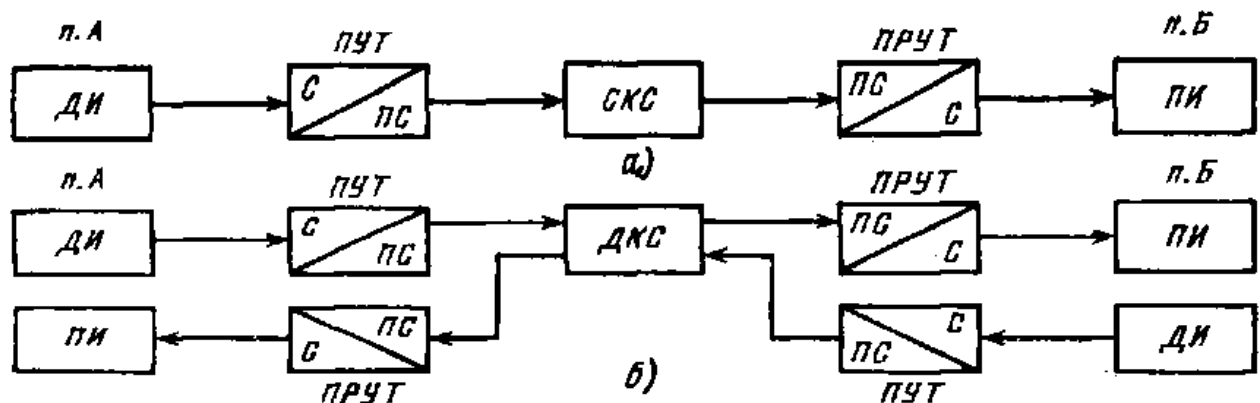


Рис. 1.2. Структурні схеми систем телемеханіки: а — симплексна; б —

дуплексна

Такі системи ТУ-ТС або АТУ-ТС виконуються з використанням багатофункціональної апаратури телемеханіки дуплексної схеми. Системи ТР і АТР сполучають із системами ТВ в дуплексній апаратурі телемеханіки ТР - ТВ, АТР -ТВ. Є й інші дуплексні багатофункціональні системи телемеханіки: ТК - ТС - ТВ, ТК - ТР - ТС - ТВ й т.д.

На рис. 1.2 наведено функціональні схеми симплексної й дуплексної систем телемеханіки. Основні елементи цих систем-датчик інформації ДІ, передаючий пристрій телемеханіки ППТ, прийомний пристрій телемеханіки ПРПТ, одержувач інформації ОІ та каналу зв'язку. У симплексній системі телемеханіки використовується канал симплексного зв'язку СКЗ, а в дуплексній системі телемеханіки - дуплексний канал зв'язку ДКЗ. У симплексній системі використовуються ППТ і ПРПТ, у дуплексній системі — пристрої телемеханіки, які мають у своєму складі як вузол передачі (ППТ), так і вузол прийому (ПРПТ) телемеханічної інформації. У симплексній системі телемеханіки інформація передається в одному напрямку, наприклад від пункту А до пункту Б, у дуплексній системі інформація передається як з пункту А в пункт Б, так і у зворотному напрямку.

Розглянемо процес передачі телемеханічної інформації на прикладі симплексної системи телемеханіки (рис. 1.2,а). Інформацією називаються відомості про який-небудь процес або явище, які раніше не були відомі одержувачеві інформації ОІ. Ця інформація формується датчиком інформації ДІ, що видає інформацію у вигляді повідомлення. Повідомленням у загальному випадку називається фізичний вплив (механічний, світловий, акустичний, тепловий, магнітний або електричний), один з параметрів якого однозначно відповідає переданій інформації. Форма повідомлення визначається видом застосовуваного ДІ: у системах телемеханіки застосовуються переважно ДІ, що виробляють повідомлення у вигляді механічного або електричного впливу. З виходу ДІ повідомлення П надходить на інформаційний вхід ППТ. У ППТ здійснюється перетворення повідомлення П у первинний електричний сигнал ПС, що потім передається по каналах зв'язку СКЗ із пункту А в пункт Б. Таким чином, повідомлення є об'єктом передачі, а сигнал— засобом передачі повідомлення на далекі відстані. Обов'язковою умовою якісної передачі інформації є однозначна відповідність значення інформаційного параметра первинного сигналу інформаційному змісту повідомлення. На прийомному кінці системи телемеханіки (пункту Б) ПС із виходу СКЗ надходить у ПРПТ, у якому сигнал перетвориться в повідомлення, передане одержувачеві інформації ОІ.

Процес передачі інформації в кожному напрямку передачі дуплексної системи телемеханіки (рис. 1.2,б) здійснюється аналогічно розглянутому.

За структурою побудови системи телемеханіки розділяються на однооб'єктні та багатооб'єктні. Однооб'єктні системи забезпечують телемеханічну (симплексний або дуплексний) зв'язок ПП з одним КП. Прикладами таких систем є системи на рис. 1.2, а й б. Багатооб'єктна система телемеханіки забезпечує зв'язок ПП з декількома КП.

У таких системах на ПП розташовують спеціальні багатооб'єктні приймальнопередаччі пристрої телемеханіки, спільні для всіх КП системи. Залежно від структури використовуваних каналів зв'язку багатооб'єктні системи телемеханіки розділяють на радіальні, ланцюгові, деревоподібні й змішані. У радіальній системі (рис. 1.3) зв'язок ПП з кожним КП здійснюється по своєму незалежному каналі зв'язку. Загальний пристрій телемеханіки СПТ з'єднується з каналами через дуплексні лінійні адаптери 1—4, що забезпечують передачу сигналів по дуплексному каналі зв'язку. Кількість адаптерів СПТ відповідає кількості каналів зв'язку й кількості КП у даній системі телемеханіки.

Інформація із блоків передачі 5 і 6 надходить через лінійний адаптер і канал зв'язку на КП, зворотна інформація із КП, передана по зворотному каналі зв'язку через адаптер СПТ, надходить на блок прийому 7 і 8.

Наявність незалежних каналів зв'язку в даній системі забезпечує незалежний обмін інформацією ПП з кожним КП.

На рис. 1.4 наведена функціональна схема багатооб'єктної системи телемеханіки, розрахованої для роботи по ланцюговим а та деревоподібним б каналам зв'язку. В обох випадках декілька КП включені в один канал зв'язку.

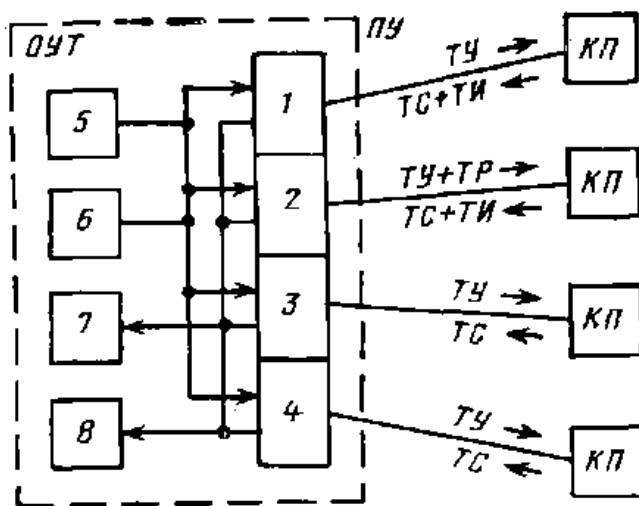


Рис. 1.3. Структурна схема радіальної системи телемеханіки

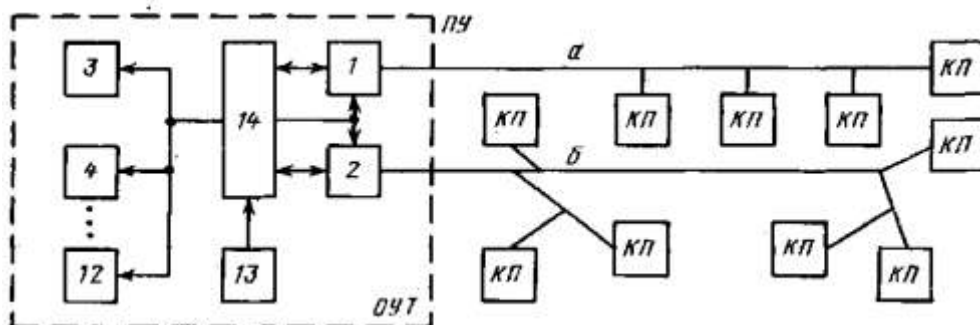


Рис. 1.4. Багатооб'єктні системи телемеханіки із ланцюговими (а) і деревоподібними (б) каналами зв'язку

Передача інформації між ПП й КП у цьому випадку можлива тільки шляхом часового ущільнення каналів зв'язку. До складу СПТ входять два лінійних адаптери 1 і 2, блоки прийому інформації 3—12, число яких відповідає числу КП у системі телемеханіки, блок передачі 13 і керуючий розподільний пристрій КРП 14. Процес передачі інформації зводиться до наступного. Контрольовані пристрої телемеханіки, розташовані на КП, не передають у канал зв'язку сигнали до одержання від СПТ відповідного дозволу. З передавача СПТ через лінійні адаптери 1 і 2 у відповідні канали зв'язку а, б для кожного КП по черзі передається сигнал, що містить у собі адресу відповідного КП і інформацію, яку необхідно передати цьому КП від блоку передачі 13. Всі КП одержують зазначений сигнал, але сприймає його тільки контрольований пристрій телемеханіки, чия адреса міститься в даному сигналі. Передавач викликаного пристрою підключається до каналу зв'язку й починає передавати запитану інформацію. Якщо передача ведеться по каналу а, лінійний адаптер сприймає сигнали, і вони через КРП 14 передаються на вхід блоку приймача 3—12, що відповідає пристрою телемеханіки даного КП. Після закінчення циклу обміну інформацією з одним КП КРП формує адресу іншого КП і відповідно підготовляє робочі ланцюги СПТ для передачі й прийому інформації цього КП. Оскільки КРП працює безупинно, то всі КП даної системи телемеханіки по черзі й циклічно здійснюють обмін інформацією з ПП. Найбільше застосування циклічні багатооб'єктні системи телемеханіки знайшли в розподільних електричних мережах ПЕМ і РЕМ, а також у міських теплових і електричних мережах.

Сучасні СПТ багатооб'єктних систем телемеханіки виконуються на базі промислових комп'ютерів, обладнаних інтелектуальними лінійними адаптерами й інтерфейсом виводу інформації на диспетчерський щит (пункт). Інтелектуальний лінійний адаптер містить у собі мікропроцесорний пристрій, що забезпечує передачу і прийом первинних сигналів, перевірку правильності передачі, обробку сигналів при прийманні й передачі оброблених сигналів у промислових комп'ютерах.

З появою подібних пристроїв грань між пристроями телемеханіки й

обчислювальної техніки стирається.

2.2 Інформаційне забезпечення систем обліку електроенергії

Системи обліку електроенергії включають в себе технічний і комерційний облік.

До технічного обліку електроенергії входять місця обліку електроенергії, за результатами яких здійснюється управління передачею електричної енергії.

Місця встановлення цих засобів обліку електричної енергії, як правило, знаходяться в характерних точках мережі, які забезпечують інформацію про потоки електричної енергії і дозволяють приймати рішення щодо мінімізації втрат енергії в елементах електричної мережі. Технічний облік повинен мати вихід на диспетчерський пункт управління електричними мережами.

При проектуванні технічного обліку електроенергії слід дотримуватися вимог наведених у [7]. Відповідно до [7] технічним (контрольним) обліком електроенергії називається облік для контролю витрат електроенергії усередині електростанцій, підстанцій, підприємств, у будівлях, квартирах і т.п.

Лічильники, що встановлюються для технічного обліку, називаються лічильниками технічного обліку.

При проектуванні комерційного обліку електроенергії слід дотримуватися вимог наступних нормативних документів [7-11].

Відповідно до [7] розрахунковим обліком електроенергії називається облік виробленої, а також відпущеної споживачам електроенергії для грошових розрахунків за неї. Лічильники, що встановлюються для розрахункового обліку, називаються розрахунковими лічильниками.

До системи комерційного обліку електроенергії входять пункти обліку електричної енергії, які розташовані в місцях балансової належності розподільчих мереж. Характерними місцями комерційного обліку є місця приєднання локальної мережі до мереж енергопостачальника з одного боку, а з другого боку - межа балансової належності споживача.

Межа балансової належності – точка електричної мережі, визначена за домовленістю між ліцензіатами з передачі електроенергії, а також між ліцензіатами з передачі електроенергії і споживачами у відповідності до вимог чинних "Інструкції про порядок комерційного обліку електроенергії" та "Правил користування електричною енергією" , у якій здійснюється облік надходження і віддачі електроенергії.

(НАЦІОНАЛЬНА КОМІСІЯ РЕГУЛЮВАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ПОСТАНОВА Про поділ споживачів
та електричного обладнання на чотири класи напруги (Методика, п.3) N
1180 від 01.12.2000 м.Київ)

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ

1.5.4. Облік активної електроенергії повинен забезпечувати визначення кількості енергії:

- 1) виробленої генераторами електростанцій;
- 2) спожитої на власні й господарські (роздільно) потреби електростанцій і підстанцій;
- 3) відпущеної споживачам по лініях, що відходять від шин електростанції безпосередньо до споживачів;
- 4) переданої в інші енергосистеми або отриманої від них;
- 5) відпущеної споживачам з електричної мережі.

Крім того, облік активної електроенергії повинен забезпечувати можливість:

- визначення надходження електроенергії в електричні мережі різних класів напруг енергосистеми;
- складання балансів електроенергії для госпрозрахункових підрозділів енергосистеми;
- контролю над дотриманням споживачами заданих їм режимів споживання й балансу електроенергії.

1.5.5. Облік реактивної електроенергії повинен забезпечувати можливість визначення кількості реактивної електроенергії, отриманої споживачем від електропостачальної організації або переданої їй, тільки в тому випадку, якщо за цими даними проводяться розрахунки або контроль дотримання заданого режиму роботи пристроїв компенсації.

ПУНКТИ УСТАНОВКИ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Лічильники для розрахунків електропостачальної організації із споживачами електроенергії рекомендується встановлювати на межі розділу мережі (по балансовій приналежності) електропостачальної організації й споживача.

1.5.6. Розрахункові лічильники активної електроенергії на електростанції повинні встановлюватися:

- а) для кожного генератора з таким розрахунком, щоб враховувалася вся вироблена генератором електроенергія;
- б) для всіх приєднань шин генераторної напруги, по яких можлива реверсивна робота, - по два лічильники зі стопорами;
- с) для міжсистемних ліній електропередачі - два лічильники зі стопорами, що враховують відпущену й отриману електроенергію;

d) для ліній усіх класів напруг, що відходять від шин електростанцій і приналежних споживачам.

e) для всіх трансформаторів і ліній, що живлять шини основної напруги (вище 1 кВ) власних потреб (ВП).

f) для ліній господарських потреб (наприклад, живлення механізмів і установок ремонтно-виробничих баз) і сторонніх споживачів, приєднаних до розподільного пристрою ВП електростанцій;

g) для кожного обхідного вимикача або для шиноз'єднувального (міжсекційного) вимикача, використовуваного в якості обхідного для приєднань, що мають розрахунковий облік, - два лічильники зі стопорами.

На електростанціях, обладнаних системами централізованого збору й обробки інформації, зазначені системи слід використовувати для централізованого розрахункового й технічного обліку електроенергії. На інших електростанціях рекомендується застосування автоматизованої системи обліку електроенергії.

1.5.7. На електростанціях потужністю до 1 МВт розрахункові лічильники активної електроенергії повинні встановлюватися тільки для генераторів і трансформаторів ВП або тільки для трансформаторів ВП і ліній, що відходять.

1.5.8. Розрахункові лічильники активної електроенергії на підстанції енергосистеми повинні встановлюватися:

a) для кожної лінії електропередачі, що належить споживачам;

b) для міжсистемних ліній електропередачі - по два лічильники зі стопорами, що враховують відпущену і отриману електроенергію; при наявності відгалужень від цих ліній в інші енергосистеми - по два лічильники зі стопорами, що враховують отриману й відпущену електроенергію, на вводах у підстанції цих енергосистем;

c) на трансформаторах ВП;

d) для ліній господарських потреб або сторонніх споживачів (селище й т.п.), приєднаних до шин ВП;

e) для кожного обхідного вимикача або для шиноз'єднувального (міжсекційного) вимикача, який використовується в якості обхідного для приєднань, які мають розрахунковий облік, - два лічильники зі стопорами.

1.5.9. Розрахункові лічильники, що передбачаються відповідно до 1.5.7, п. 4 і 1.5.9, п. 1, допускається встановлювати не на живильному, а на прийомному кінці лінії в споживача у випадках, коли трансформатори струму на електростанціях і підстанціях, обрані по струму КЗ або по характеристиках диференціального захисту шин, не забезпечують необхідної точності обліку електроенергії.

1.5.10. Розрахункові лічильники активної електроенергії на підстанції, що належить споживачеві, повинні встановлюватися:

a) на вводі (приймальному кінці) лінії електропередачі в підстанцію споживача відповідно до 1.5.10 при відсутності електричного

зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми або іншого споживача на живлячій напрузі;

b) на стороні вищої напруги трансформаторів підстанції споживача при наявності електричного зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми або наявності іншого споживача на живлячій напрузі.

Допускається установка лічильників на стороні нижчої напруги трансформаторів у випадках, коли трансформатори струму, обрані по струму КЗ або по характеристиках диференціального захисту шин, не забезпечують необхідної точності обліку електроенергії, а також коли в наявних вбудованих трансформаторів струму відсутня обмотка класу точності 0,5.

У випадку, коли установка додаткових комплектів трансформаторів струму з боку нижчої напруги силових трансформаторів для включення розрахункових лічильників неможлива (КРУ, КРУН), допускається організація обліку на лініях, що відходять, 6-10 кВ.

Для підприємства, що розраховується з електропостачальною організацією по максимуму заявленої потужності, слід передбачати установку лічильника з показником максимуму навантаження при наявності одного пункту обліку, при наявності двох або більш пунктів обліку - застосування автоматизованої системи обліку електроенергії ;

c) на стороні середньої й нижчої напруг силових трансформаторів, якщо на стороні вищої напруги застосування вимірювальних трансформаторів не потрібно для інших цілей;

d) на трансформаторах ВП, якщо електроенергія, відпущена на власні потреби, не враховується іншими лічильниками; при цьому лічильники рекомендується встановлювати з боку нижчої напруги;

e) на межі розділу основного споживача й стороннього споживача (субабонента), якщо від лінії або трансформаторів споживачів заживлюється ще сторонній споживач, що знаходиться на самостійному балансі.

Для споживачів кожної тарифікаційної групи слід встановлювати окремі розрахункові лічильники.

1.5.11. Лічильники реактивної електроенергії повинні встановлюватися:

a) на тих же елементах схеми, на яких установлені лічильники активної електроенергії для споживачів, що розраховуються за електроенергію з урахуванням дозволеної до використання реактивної потужності;

b) на приєднаннях джерел реактивної потужності споживачів, якщо по них проводиться розрахунки за електроенергію, видану в мережу енергосистеми, або здійснюється контроль заданого режиму роботи.

Якщо з боку підприємства за згодою енергосистеми проводиться видача реактивної електроенергії в мережу енергосистеми, необхідно встановлювати два лічильники реактивної електроенергії зі стопорами.

Проектування комерційного обліку електроенергії повинно здійснюватися за технічними умовами енергопостачальної компанії з урахуванням його адаптації в системі автоматизованої системи обліку електроенергії діючої в енергопостачальній організації.

При цьому слід надавати перевагу пристроям, які забезпечують:

- збирання і збереження облікової інформації;
- обмін обліковою інформацією з платіжними системами для забезпечення регулювання споживання електроенергії абонентами;
- облік спожитої енергії для кожної тарифної зони зростаючим підсумком за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- визначення максимальної потужності періоду інтегрування для кожної тарифної зони за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- ведення бази даних вимірювальної інформації і споживачів електроенергії;
- збереження даних при відключенні основної мережі живлення протягом не менше 60 діб і автоматичне відновлення її працездатності при відновленні живлення.

Відповідно [6] до технічних засобів АСКУЕ відносяться:

- індукційні й електронні трифазні лічильники активної й реактивної електроенергії, доукомплектовані або, що мають вбудовані (в електронних лічильниках) спеціальні датчики імпульсів;
- інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) і пристрої збору й передачі даних (ПЗПД (так звані SCADA системи)), що забезпечують збір, обробку, нагромадження, зберігання й передачу через канали зв'язку на верхній рівень керування інформації про витрату електроенергії й потужності в контрольованих точках;
- технічні засоби системи збору й передачі інформації від ІВС (ПЗПД) до ЕОМ, включаючи канали зв'язку, модеми, пристрої комутації сигналів і т.д.;
- обчислювальна техніка.

При створенні АСКУЕ РЕС необхідно:

- оснастити контрольовані підстанції РЕС технічними засобами АСКУЕ;
- організувати передачу інформації про електроенергію й потужності з підстанцій на ДП РЕС;
- оснастити ДП РЕС виділеної для цієї мети АСКУЕ ПЕОМ із необхідним програмним забезпеченням;
- організувати зв'язки цієї ПЕОМ або файл-сервера локальної обчислювальної мережі РЕС із локальною обчислювальною мережею ПЕС і АСК відділення Енергонагляду.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ТА ЗБОРУ ДАНИХ

4.1 Загальна характеристика програмного забезпечення SCADA

Програмне забезпечення типу SCADA призначене для розробки й експлуатації автоматизованих систем керування технологічними процесами. Резонно поставити запитання: а що ж все-таки первинно – розробка або експлуатація? І відповідь у цьому випадку однозначний – первинним є ефективний людино-машинний інтерфейс (HMI), орієнтований на користувача, тобто на оперативний персонал, роль якого в керуванні є визначальною. SCADA – це новий підхід до проблем людського фактора в системах керування (зверху вниз), орієнтація в першу чергу на людину (оператора/диспетчера), його завдання й реалізовані їм функції.

Такий підхід дозволив мінімізувати участь операторів/диспетчерів у керуванні процесом, але залишив за ними право ухвалення рішення в особливих ситуаціях.

А що дала SCADA-Система розроблювачам? З появою SCADA вони одержали в руки ефективний інструмент для проектування систем керування, до переваг якого можна віднести:

- високий ступінь автоматизації процесу розробки системи керування;
- участь у розробці фахівців в області автоматизованих процесів (програмування без програмування);
- реальне скорочення тимчасових, а, отже, і фінансових витрат на розробку систем керування.

Перш, ніж говорити про функціональні можливості ПО SCADA, пропонується глянути на функціональні обов'язки самих операторів/диспетчерів. Які ж ці обов'язки? Слід відразу зазначити, що

функціональні обов'язки операторів/диспетчерів конкретних технологічних процесів і виробництв можуть бути суттєво різними, та й самі поняття «оператор» і «диспетчер» далеко не рівнозначні. Проте, серед різноманіття цих обов'язків виявилось можливим знайти загальні, властиві даної категорії працівників:

- реєстрація значень основних технологічних і госпрозрахункових параметрів;
- аналіз отриманих даних і їх зіставлення зі змінно-добовими завданнями й календарними планами;
- облік і реєстрація причин порушень ходу технологічного процесу;
- ведення журналів, складання оперативних рапортів, звітів і інших документів;
- надання даних про хід технологічного процесу й стану устаткування у вищій служби і т.д.

Раніше в операторній (диспетчерській) перебував щит керування (звідси - щитова). Для установок і технологічних процесів з декількома сотнями параметрів контролю й регулювання довжина щита могла досягати декількох десятків метрів, а кількість приладів на них вимірялося багатьма десятками, а іноді й сотнями. Серед цих приладів були, що й показують (шкала й показчик), і самописні (крім шкали й показчика ще й діаграмний папір з пером), що й сигналізують. У певний час оператор, обходячи щит, записував показання приладів у журнал. Так вирішувалося завдання збору й реєстрації інформації.

У приладах, що обслуговують регульовані параметри, були пристрої для настроювання завдання регулятора й для переходу з автоматичного режиму керування на ручне (дистанційне). Тут же, поруч із приладами, перебували численні кнопки, тумблери й рубильники для включення й відключення різного технологічного встаткування. У такий спосіб

вирішувалися завдання дистанційного керування технологічними параметрами й устаткуванням.

Над щитом керування (як правило, на стіні) перебувала мнемосхема технологічного процесу із зображеними на ній технологічними апаратами, матеріальними потоками й численними лампами сигналізації зеленого, жовтого й червоного (аварійного) кольору. Ці лампи починали мигати при виникненні позаштатної ситуації. В особливо небезпечних ситуаціях передбачалася можливість подачі звукового сигналу (сирена) для швидкого попередження всього оперативного персоналу. Так вирішувалися завдання, пов'язані із сигналізацією порушень технологічного регламенту (відхилень поточних значень технологічних параметрів від заданих, відмови встаткування).

З появою в операторній/диспетчерській комп'ютерів було природнім частина функцій, зв'язаних зі збором, реєстрацією, обробкою й відображенням інформації, визначенням позаштатних (аварійних) ситуацій, веденням документації, звітів, перекласти на комп'ютери. Ще в часи перших керуючих обчислювальних машин з монохромними алфавітно-цифровими дисплеями на цих дисплеях зусиллями ентузіастів-розроблювачів уже створювалися «псевдографічні» зображення - прообраз сучасної графіки. Уже тоді системи забезпечували збір, обробку, відображення інформації, введення команд і даних оператором, архівування й протоколювання ходу процесу.

Хотілося б відзначити, що з появою сучасних програмно-технічних засобів автоматизації, робочих станцій операторів/диспетчерів, що функціонують на базі програмного забезпечення SCADA, щити керування й настінні мнемосхеми не пропали. Там, де це продиктоване доцільністю, щити й пульти керування залишаються, але стають більш компактними.

Поява ЕОМ, а потім і персональних комп'ютерів втягнуло в процес створення операторського інтерфейсу програмістів. Вони добре володіють

комп'ютером, мовами програмування й здатні писати складні програми. Для цього програмістові потрібний лише алгоритм (формалізована схема розв'язку завдання). Але погано те, що програміст, як правило, не володіє технологією, не «розуміє» технологічного процесу. Тому для розробки алгоритмів треба було залучати фахівців-технологів, наприклад, інженерів по автоматизації.

Вихід із цієї ситуації був знайдений у створенні методів «програмування без реального програмування», доступних для розуміння не тільки програмістові, але й інженерові-технологові. У результаті з'явилися програмні пакети для створення інтерфейсу «людей-машина» (Man/Humain Machine Interface, MMI/HMI). За рубежом це програмне забезпечення одержало назву SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – супервизорное/диспетчерське керування й збір даних), тому що призначало для розробки й функціональної підтримки Армів операторів/диспетчерів в АСУТП. А в середині 90-х аббревіатура SCADA (СКАДА) упевнено з'явилася й у лексиконі російських фахівців з автоматизації.

Виявилось, що більшість завдань, що коштують перед творцями програмного забезпечення верхнього рівня АСУ ТП різних галузей промисловості, досить легко піддається уніфікації, тому що функції оператора/диспетчера практично будь-якого виробництва досить уніфіковані й легко піддаються формалізації.

Таким чином, базовий набір функцій SCADA-Систем визначений роллю цього програмного забезпечення в системах керування (HMI) і реалізований практично у всіх пакетах. Це:

- збір інформації із пристроїв нижнього рівня (датчиків, контролерів);
- приймання й передача команд оператора/диспетчера на контролери й виконавчі пристрої (дистанційне керування об'єктами);

- мережна взаємодія з інформаційною системою підприємства (з вищими службами);
- відображення параметрів технологічного процесу й стану устаткування за допомогою мнемосхем, таблиць, графіків і т.п. у зручній для сприйняття формі;
- оповіщення експлуатаційного персоналу про аварійні ситуації й подіях, пов'язаних з контрольованим технологічним процесом і функціонуванням програмно-апаратних засобів АСУ ТП із реєстрацією дій персоналу в аварійних ситуаціях.
- зберігання отриманої інформації в архівах;
- представлення поточних і накопичених (архівних) даних у вигляді графіків (тренди);
- вторинна обробка інформації;
- формування зведень і інших звітних документів по створених на етапі проектування шаблонам.

До інтерфейсу, створеного на базі програмного забезпечення SCADA, пред'являється кілька фундаментальних вимог:

він повинен бути інтуїтивно зрозумілий і зручний для оператора/диспетчера;

одиночна помилка оператора не повинна викликати видачу неправильної команди керування на об'єкт.

4.2 Узагальнена архітектура інформаційних систем керування SCADA

На рис 4.1 представлена архітектура багаторівневої системи керування, що узагальнює чисельні застосування таких систем для керування технологічними процесами енергетичної галузі.

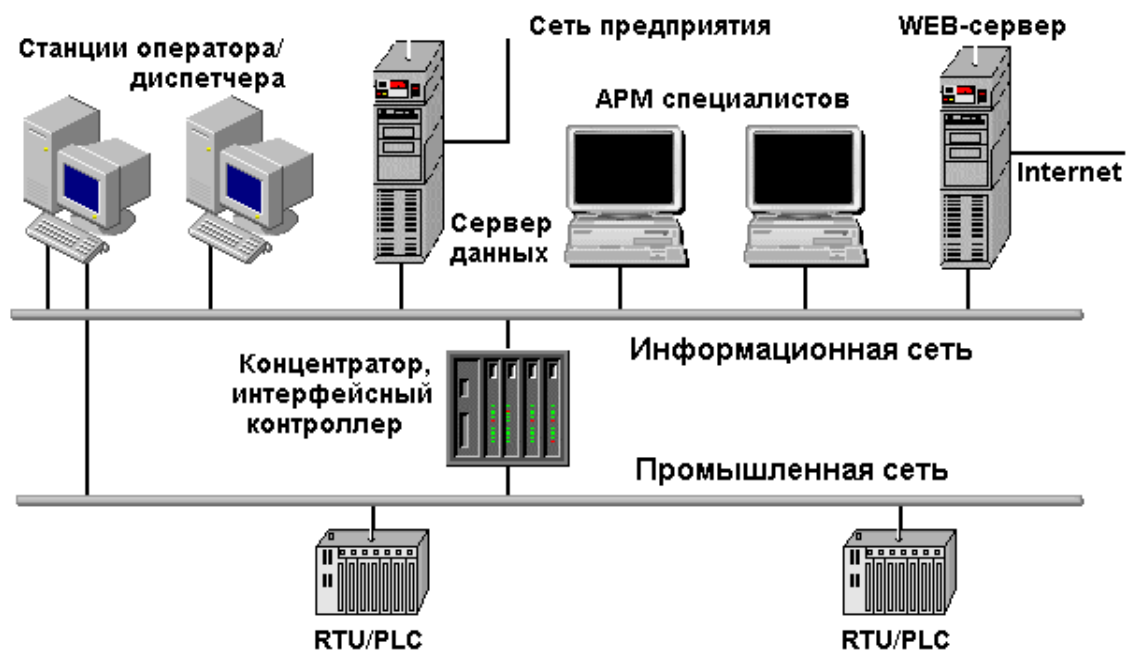


Рисунок 4.1 – Узагальнена структурна схема системи керування

Як правило, це дворівневі системи, і саме на цих рівнях реалізується безпосереднє керування технологічними процесами. Специфіка кожної конкретної системи керування визначається використовуваною на кожному рівні програмно - апаратною платформою.

Нижній рівень - рівень об'єкта (контроллерний) - включає різні датчики (вимірювальні перетворювачі) для збору інформації про хід технологічного процесу, електроприводи й виконавчі пристрої для реалізації регулюючих і керуючих впливів. Датчики поставляють інформацію локальним контролерам (PLC), які можуть забезпечити реалізацію наступних функцій:

- збір, первинна обробка й зберігання інформації про стан устаткування й параметрах технологічного процесу;
- автоматичне логічне керування й регулювання;
- виконання команд із пункту керування;
- самодіагностика роботи програмного забезпечення й стану самого контролера;

- обмін інформацією з пунктами керування.

Тому що інформація в контролерах попередньо обробляється й частково використовується на місці, суттєво знижуються вимоги до пропускної здатності каналів зв'язки.

Інформація з локальних контролерів може направлятися в мережу диспетчерського пункту безпосередньо, а також через контролери верхнього рівня (див. рис.4.1). Залежно від поставленого завдання контролери верхнього рівня (концентратори, комунікаційні контролери) реалізують різні функції. Деякі з них перераховані нижче:

- збір даних з локальних контролерів;
- обробка даних, включаючи масштабування;
- підтримка єдиного часу в системі;
- синхронізація роботи підсистем;
- організація архівів по обраних параметрах;
- обмін інформацією між локальними контролерами й верхнім рівнем;
- робота в автономному режимі при порушеннях зв'язку з верхнім рівнем;
- резервування каналів передачі даних і ін.

Верхній рівень - диспетчерський пункт (ДП) - включає одну або кілька станцій керування, що представляють собою автоматизоване робоче місце (АРМ) диспетчера/оператора. Тут же може бути розміщений сервер бази даних. На верхньому рівні можуть бути організовані робочі місця (комп'ютери) для фахівців, у тому числі й для інженера по автоматизації (інжинірингові станції). Часто в якості робочих станцій використовуються ПЭВМ типу IBM PC різних конфігурацій.

Станції керування призначені для відображення ходу технологічного процесу й оперативного керування. Ці завдання й покликано вирішувати програмне забезпечення SCADA, орієнтоване на розробку й підтримка

інтерфейсу між диспетчером/оператором і системою керування, а також на забезпечення взаємодії із зовнішнім миром.

Усі апаратні засоби системи керування об'єднані між собою каналами зв'язку. На нижньому рівні контролери взаємодіють із датчиками й виконавчими пристроями за допомогою фізичних ліній, а із блоками вилученого й розподіленого введення/виводу – за допомогою спеціалізованих мереж.

Зв'язок вилучених контролерів з контролерами верхнього рівня (концентраторами) часто реалізується по радіо й телефонним каналам. У випадку невеликих відстаней локальні контролери поєднуються між собою й з верхнім рівнем керуючими мережами на базі виті пари, оптоволокна.

Зв'язок різних АРМ оперативного персоналу й фахівців між собою, з контролерами верхнього рівня, а також з вищим рівнем здійснюється за допомогою інформаційних мереж (кручена пари, оптоволокно).

Спектр реалізацій RTU у таких системах керування досить широкий. Конкретна реалізація RTU залежить від області застосування. Це можуть бути промислові комп'ютери (PC-сумісні контролери) або програмувальні логічні контролери (PLC/ПЛК). На українському ринку представлена широка гама контролерів всіляких конфігурацій і призначень.

Що стосується програмного продукту типу SCADA, те зараз на українському ринку присутній кілька десятків відкритих SCADA-Пакетів, що володіють практично однаковими функціональними можливостями. Проте, кожний SCADA-Пакет є по-своєму унікальним, і його вибір для конкретної системи автоматизації як і раніше залишається актуальним.

Вибір комунікаційного програмного забезпечення (протоколів обміну інформацією) для конкретної системи керування визначається багатьма факторами, у тому числі й типом застосовуваних контролерів, і обраним SCADA-Пакетом.

4.2 Архітектурна побудова SCADA-систем

На початковому етапі розвитку (80-і роки) кожний виробник мікропроцесорних систем керування розробляв свою власну SCADA-програму. Такі програми могли взаємодіяти тільки з вузьким колом контролерів, і по всіх параметрах були закритими (відсутність набору драйверів для роботи із пристроями різних виробників і засобів їх створення, відсутність стандартних механізмів взаємодії з іншими програмними продуктами і т.д.).

С появою концепції відкритих систем (початок 90-х) програмні засоби для операторських станцій стають самостійним продуктом.

Однієї з перших завдань, поставлених перед розроблювачами SCADA, стало завдання організації багатокористувацьких систем керування, тобто систем, здатних підтримувати досить велика кількість АРМ користувачів (клієнтів). У результаті з'явилася клієнт - серверна технологія або архітектура.

Клієнт - серверна архітектура характеризується наявністю двох взаємодіючі самостійні процесів - клієнта й сервера, які, у загальному випадку, можуть виконуватися на різних комп'ютерах, обмінюючись даними по мережі (рис.4.2). За такою схемою можуть бути побудовані системи керування технологічними процесами, системи обробки даних на основі СУБД і т.п.

Клієнт-Серверна архітектура припускає, що вся інформація про технологічний процес від контролерів збирається й обробляється на сервері введення/виводу (сервер бази даних), до якого по мережі підключаються АРМ клієнтів.



Рисунок 4.2 – Клієнт-Серверна архітектура.

Під станцією-сервером у цій архітектурі слід розуміти комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням для збору й зберігання даних і наступної їхньої передачі по каналах зв'язку оперативному персоналу для контролю й керування технологічним процесом, а також усім зацікавленим фахівцям і керівникам. По визначенню сервер є постачальником інформації, а клієнт – її споживачем. Таким чином, робочі станції операторів/диспетчерів, фахівців, керівників є станціями-клієнтами. Звичайно клієнтом служить настільний ПК, що виконує програмне забезпечення кінцевого користувача. ПО клієнта - це будь-яка прикладна програма або пакет, здатні направляти запити по мережі серверу й обробляти одержувану у відповідь інформацію. Природно, функції клієнтських станцій, а, отже, і програмне забезпечення, різні й визначаються функціями робочого місця, яке вони забезпечують.

Кількість операторських станцій, серверів введення/виводу (серверів БД) визначається на стадії проектування й залежить, насамперед, від обсягу інформації, що переробляється в системі. Для невеликих систем

керування функції сервера введення/виводу й станції оператора (HMI) можуть бути сполучені на одному комп'ютері.

У мережних розподілених системах засобами SCADA/HMI стало можливим створювати станції (вузли) різного функціонального призначення: станції операторів/диспетчерів, сервери з функціями HMI, “сліпі” сервери (без функцій HMI), станції моніторингу (тільки перегляд без прав на керування) для фахівців і керівників і інші.

SCADA-Програми мають у своєму составі два взаємозалежні модулі: Development (середовище розробки проекту) і Runtime (середовище виконання). З метою зниження вартості проекту ці модулі можуть встановлюватися на різні комп'ютери. Наприклад, станції оператора, як правило, є вузлами Runtime (або View) з повним набором функцій людино-машинного інтерфейсу. При цьому хоча б один комп'ютер у мережі повинен бути типу Development. На таких вузлах проект розробляється, коректується, а також може й виконуватися. Деякі SCADA-Системи допускають внесення змін у проект без зупинки роботи всієї системи. Програмне забезпечення SCADA-Серверів дозволяє створювати повний проект системи керування, включаючи базу даних і HMI.

Важливим аспектом у структурній побудові мережних систем керування є структура бази даних реального часу (централізована або розподілена). Кожна зі структур в SCADA/ Hmi-Системах реалізується різними розроблювачами по-різному. Від реалізації суттєво залежать ефективність забезпечення єдності й цілісності бази даних, її Стабільність, можливості модифікації і т.д.

В одних випадках для доступу до даних на комп'ютері-клієнтові створюється «своя» база даних, яка копіюється з віддалених серверів. Дублювання даних може привести до певних проблем з погляду цілісності бази даних і продуктивності системи керування. При модифікації бази даних з такою організацією, наприклад, при введенні додаткової змінної

будуть потрібні зміни в кожній мережній копії, що використовує цю змінну.

В інших випадках комп'ютерам-клієнтам не потрібні копії баз даних. Вони одержують необхідну їм інформацію з мережі від сервера, у завдання якого входить підтримання бази даних. Серверів може бути трохи, і будь-яка частина даних зберігається тільки в одному місці, на одному сервері. Тому й модифікація бази даних проводиться тільки на одному комп'ютері – сервері бази даних, що забезпечує її єдність і цілісність. Такий підхід до структурної побудови системи знижує навантаження на мережу й дає ще цілий ряд переваг.

З погляду структурної побудови SCADA-Пакетів розрізняють:

- системи, що забезпечують повний набір базових функцій НМІ;
- системи, що полягають із модулів, що реалізують окремі функції НМІ.

Системи, що забезпечують повний набір базових функцій, можуть комплектуватися додатковими опціями, що реалізують необов'язкові в застосуванні функції контролю й керування.

У другому випадку система створюється повністю модульної (сервер уведення/виводу, сервер алармов, сервер трендів, і т.д.). Для невеликих проектів усі модулі можуть виконуватися на одному комп'ютері. У проектах з більшою кількістю змінних модулів можна розподілити на кілька комп'ютерів у різних комбінаціях. Варіант клієнт-серверної архітектури такої системи представлений на рис. 4.2.

У клієнт-серверній архітектурі системи керування, представленої на рис.4.3, функції збору й зберігання даних, керування алармами й трендами розподілені між трьома серверами. Функція НМІ реалізується на станціях-клієнтах.

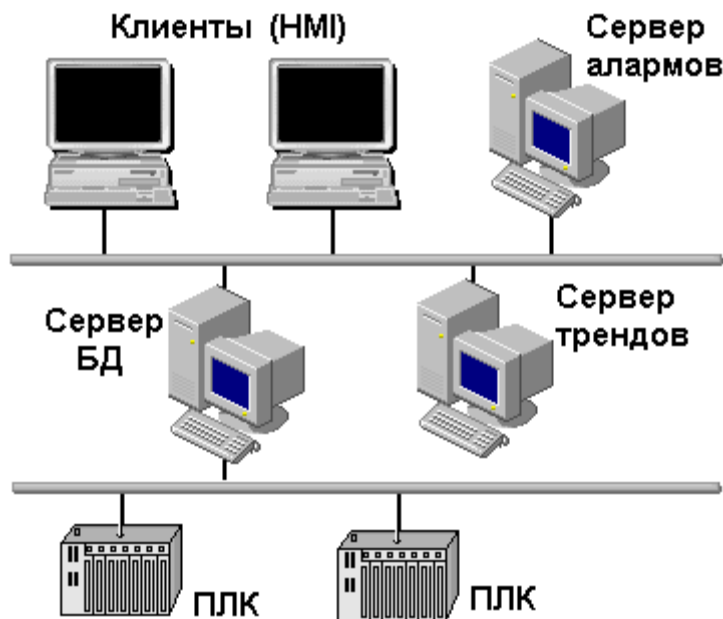


Рисунок 4.3 – Архітектура модульної SCADA

Наприклад, SCADA Citect має у своєму складі п'ять функціональних модулів (серверів або клієнтів):

I/O - сервер вводу/виводу. Забезпечує передачу даних між фізичними пристроями введення/виводу й іншими модулями Citect.

Display - клієнт візуалізації. Забезпечує операторський інтерфейс: відображення даних, що надходять від інших модулів Citect, і керування виконанням команд оператора.

Alarms - сервер алармов. Відслідковує дані, порівнює їх з припустимими межами, перевіряє виконання заданих умов і відображає аларми на відповідному вузлі візуалізації.

Trends - сервер трендів. Збирає й реєструє трендову інформацію, дозволяючи відобразити розвиток процесу в реальному масштабі часу або в ретроспективі.

Reports - сервер звітів. Генерує звіти після закінчення певного часу, при виникненні певної події або по запиті оператора.

В одній мережі можна використовувати тільки один сервер алармов, сервер трендів і сервер звітів. У той же час допускається використання

декількох серверів уведення/виводу (I/O Server). Кількість комп'ютерів із установленим модулем Display (, що забезпечують операторський інтерфейс) у мережі практично не обмежене.

4.3 SCADA як відкрита система

Поширення архітектури « клієнт-сервер» стало можливим завдяки розвитку й широкому впровадженню в практику концепції відкритих систем. Головною причиною появи й розвитку концепції відкритих систем з'явилися проблеми взаємодії програмно-апаратних засобів у локальних комп'ютерних мережах. Розв'язати ці проблеми можна було тільки шляхом міжнародної стандартизації програмних і апаратних інтерфейсів.

Концепція відкритих систем припускає вільна взаємодія програмних засобів SCADA із програмно-технічними засобами різних виробників. Це актуально, тому що для сучасних систем автоматизації характерний високий ступінь інтеграції великої кількості компонент. У системі автоматизації крім об'єкта керування задіяний цілий комплекс програмно-апаратних засобів: датчики й виконавчі пристрої, контролери, сервери баз даних, робочі місця операторів, АРМ фахівців і керівників і т.д. (рис.4.4). При цьому в одній системі можуть бути застосовані технічні засоби різних виробників.

Очевидно, що для ефективного функціонування в цьому різномірному середовищі SCADA-Система повинна забезпечувати високий рівень мережної взаємодії.

Реалізація цього завдання вимагає від SCADA-Системи наявності типових протоколів обміну з найбільш популярними промисловими мережами, такими, як Profibus, Controlnet, Modbus і іншими.

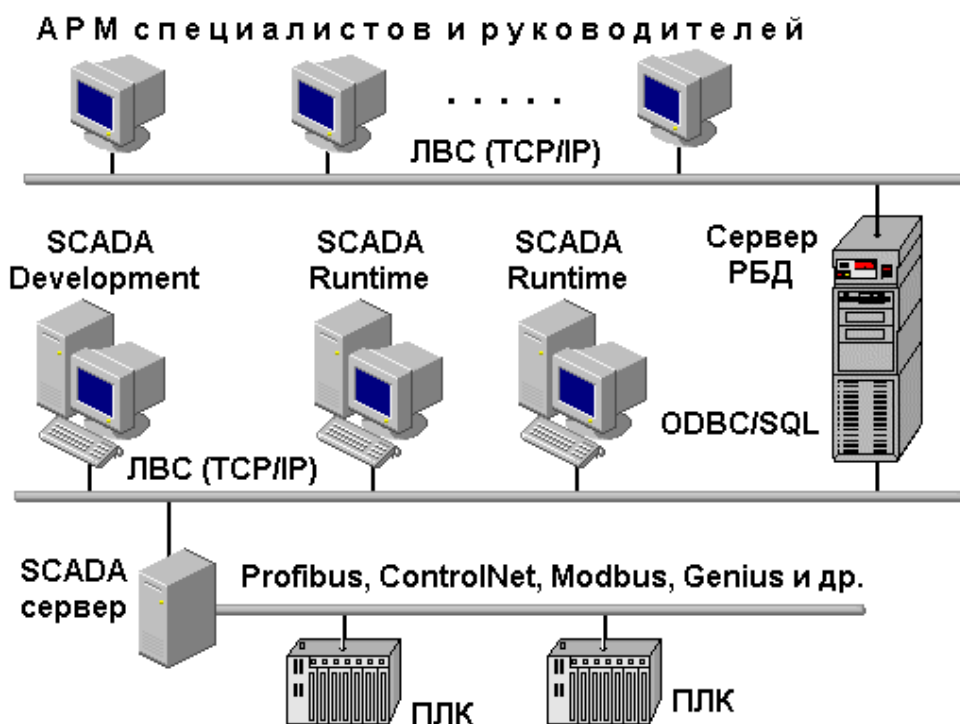


Рисунок 4.4 – Інтеграція SCADA у систему керування

З іншого боку, SCADA-Системи повинні підтримувати інтерфейс і зі стандартними інформаційними мережами (Ethernet і ін.) з використанням стандартних протоколів (TCP/IP і ін.) для обміну даними з компонентами розподіленої системи керування.

Практично будь-яка SCADA-Система має у своєму складі базу даних реального часу й підсистему архівування даних. Але підсистема архівування не призначена для тривалого зберігання більших масивів інформації (місяці й роки). Інформація в ній періодично оновлюється, інакше для неї просто не вистачить місця. Розглянутий тут клас програмного забезпечення (SCADA - системи) призначений для забезпечення поточною й архівною інформацією оперативного персоналу, відповідального за безпосереднє керування технологічним процесом.

Інформація, що відбиває господарську діяльність підприємства (дані для складання матеріальних балансів установок, виробництва, підприємства в цілому й т.п.), зберігається в реляційних базах даних (РБД) типу Oracle, Sybase і т.д. У ці бази даних інформація поставляється або за допомогою

ручного введення, або автоматизованим способом (за допомогою SCADA-Систем). Таким чином, висувається ще одна вимога до програмного забезпечення SCADA - наявність у їхньому составі протоколів обміну з типовими базами даних.

4.4 Стабільність SCADA-Систем

Поняття стабільності SCADA-Пакетів містить у собі два аспекти: стабільність самого програмного продукту SCADA і можливість програмного резервування компонентів системи в різних варіантах.

Стабільність SCADA-Пакета визначається декількома характеристиками: стабільністю операційної системи, наявністю засобів збереження даних і конфігурації при збоях, наявністю засобів автоматичного перезапуску системи.

По стабільності сучасні SCADA-Продукти, також як і по функціональності, незначно відрізняються друг від друга. Проте, при виборі пакета можна звернути увагу на список його впроваджень. Наявність у такому списку проектів для небезпечних і відповідальних виробництв, проектів з більшим числом параметрів, територіально й функціонально розподілених Армов говорить про досить високу стабільність SCADA-Пакета.

Але система керування може повністю вийти з ладу не тільки через відмову програмного забезпечення, але й устаткування.

Що одержала найбільш широке поширення розподілена система керування, представлена на рис.4.5, вийде з ладу, якщо всього лише в одному компоненті (сервері) виникне несправність.

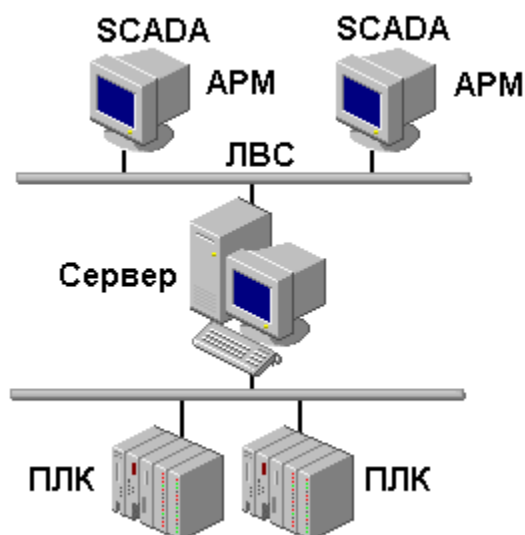


Рисунок 4.5 – Мережева архітектура SCADA.

Реалізація SCADA-Пакетами функцій резервування дозволяє усунути відмови в системі без втрати її функціональних можливостей і продуктивності. Програмне забезпечення SCADA підтримує реалізацію резервування різних компонентів системи керування як внаслідок особливості архітектури, так і наявності вбудованих механізмів.

Дублювання сервера введення/виводу

Для підвищення надійності системи керування досить явно проглядається варіант із резервуванням сервера (рис.4.6). Тут можливі два варіанти. В одному випадку обоє сервера (основний і резервний) взаємодіють із пристроями введення/виводу, подвоюючи навантаження на промислову мережу й знижуючи продуктивність системи. У штатному режимі клієнти взаємодіють із основним сервером. При виході його з ладу вони направляють свої запити до резервного сервера.

У розподіленій клієнт-серверній архітектурі SCADA-Систем лише один (основний) сервер взаємодіє з контролерами. При цьому основний сервер постійно оновлює базу даних резервного сервера, забезпечуючи його постійну готовність.

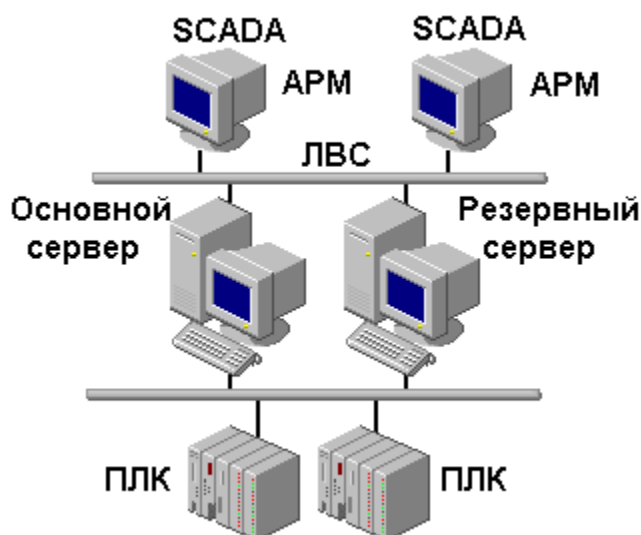


Рисунок 4.6 – Резервування сервера

Резервування мережі й контролерів

Структура, наведена на рис.4.6, збільшує стабільність системи, усуваючи одне з основних «слабких» місць – відмова сервера. Іншим «слабким» місцем розподіленої системи керування може бути сама мережа. Вихід її з ладу порушує керування, тому що станції операторів/диспетчерів у цьому випадку виявляються відрізаними від системи. Підвищення надійності системи керування забезпечується додатковою мережею (рис.4.7).

Більшість контролерів може підтримувати додаткову (резервну) зв'язок із сервером уведення/виводу. При відмові основного каналу гарантується обмін даними між контролером і сервером.

Досягти повного резервування можна шляхом дублювання контролерів (рис.4.7).



Рисунок 4.7 – Варіанти резервування

Розглянуті вище способи підвищення надійності системи керування добре відомі. Важливим тут є те, що саме вбудовані в SCADA-Систему механізми дозволяють конфігурувати розподілену клієнт-серверну архітектуру, визначаючи на стадії проектування основні й резервні пристрої системи керування. А в режимі виконання саме SCADA- система визначає несправність того або іншого компонента системи й автоматично робить перемикання на резервне встаткування, попереджаючи про цей оперативний персонал.

5 АРХІТЕКТУРА ОІК АСДК ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Основою електроенергетики України є Об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка забезпечує централізоване енергопостачання власних споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, забезпечуючи експорт а також імпорт електроенергії. Восьмою частиною ОЕС є Південно-Західна електроенергетична система, що становить собою складний і потужний електроенергетичний комплекс Подільського економічного регіону України, який охоплює чотири області: Вінницьку, Хмельницьку, Тернопільську й Чернівецьку. В існуючих ринкових умовах Південно-Західна електроенергетична система виконує наступні основні завдання:

- оперативно-технологічне й диспетчерського керування системоутворюючою електричною мережею 330-750кВ в умовах функціонування оптового ринку електроенергії України, що гарантує стабільність і оптимальність режимів роботи в складі ОЕС;
- забезпечення експлуатації, обслуговування й надійної роботи системоутворюючої електричної мережі й засобів керування;
- забезпечення ремонту, реконструкції й модернізації обладнання магістральних електромереж;
- здійснення Державного нагляду за режимами споживання електроенергії в регіоні.

У Південно-Західному електроенергетичному регіоні розташовані такі енергооб'єкти:

- Хмельницька АЕС потужністю 1 млн. кВт;
- Ладжинська ТЕС потужністю 1,8 млн. кВт;
- Дністровська ГЕС потужністю 0,7 млн. кВт;
- чотири обласні енергопостачальні компанії.

Південно-Західна електроенергетична система здійснює транспорт близько 10 млн. мегават-годинника електроенергії в рік по магістральних високовольтних електричних мережах 330-750 кВ довжиною більш 2154 км через 9 підстанцій 330-750 кВ сумарною номінальною потужністю 4000 МВА.

У 1996 році в ПЗЕС було розроблено і здано в експлуатацію оперативно-інформаційний комплекс АСДК який експлуатується і вдосконалюється по сьогоднішній день

Архітектура оперативно-інформаційного комплексу включає багато технічних пристроїв з різним функціональним призначенням, а комплекс тому по праву заслужив назву агрегованого оперативно-інформаційного комплексу АСДК Південно-Західної електроенергетичної системи (рис. 5.1-5.2).

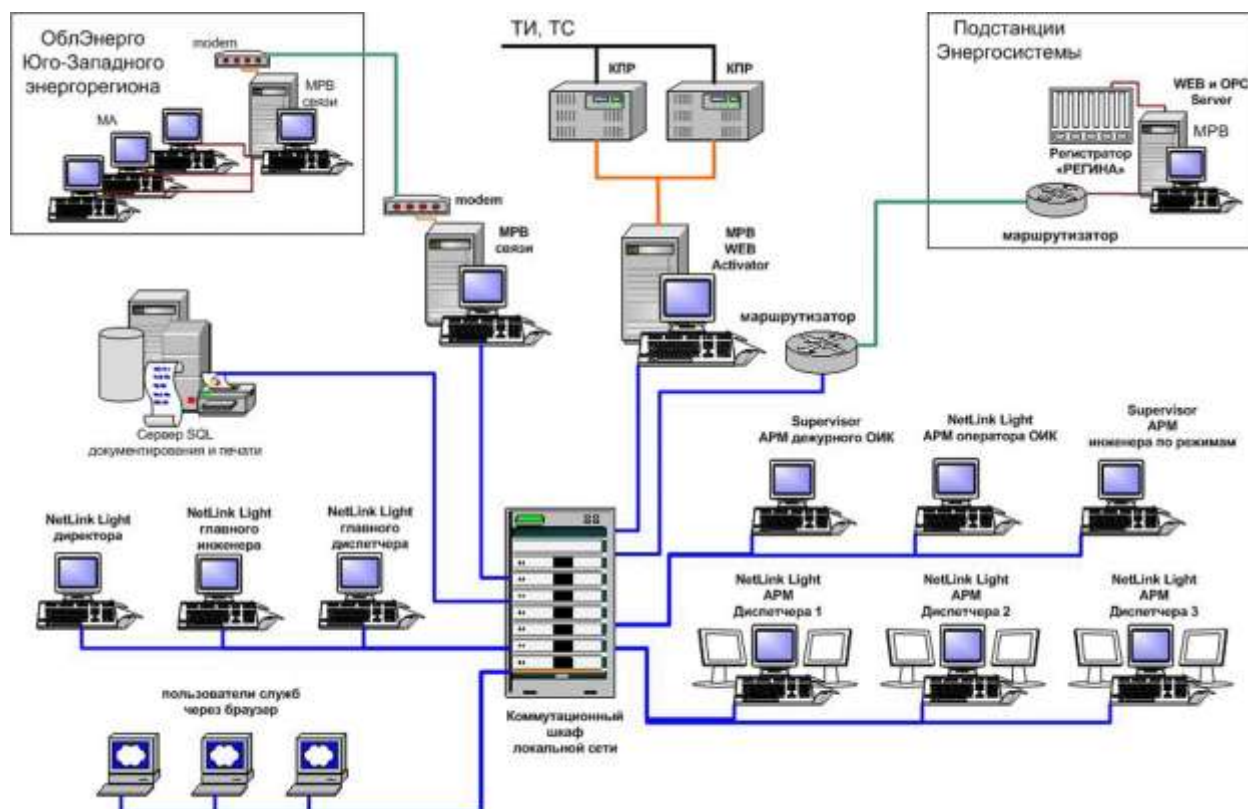


Рисунок 5.1 – Архітектура агрегованого оперативно-інформаційного комплексу АСДК Південно-Західної електроенергетичної системи на платформі WINDOWS

Особливістю ОІК АСДК енергосистеми є функція міжмашинного зв'язку з ОІК АСДК облenerго. Обмін здійснюється по виділеному каналу зв'язку. Раз у секунду на монітор реального часу ОІК АСДК облenerго передаються дані про надходження електроенергії в розподільну мережу облenerго, рівні напруги, стан вимикачів. З ОІК АСДК облenerго в ОІК АСДК енергосистеми по каналу міжмашинного обміну в тому ж темпі надходить інформація з підстанцій 110 кВ облenerго, яка на рівні енергосистеми використовується для складання достовірного балансу витрат електроенергії.

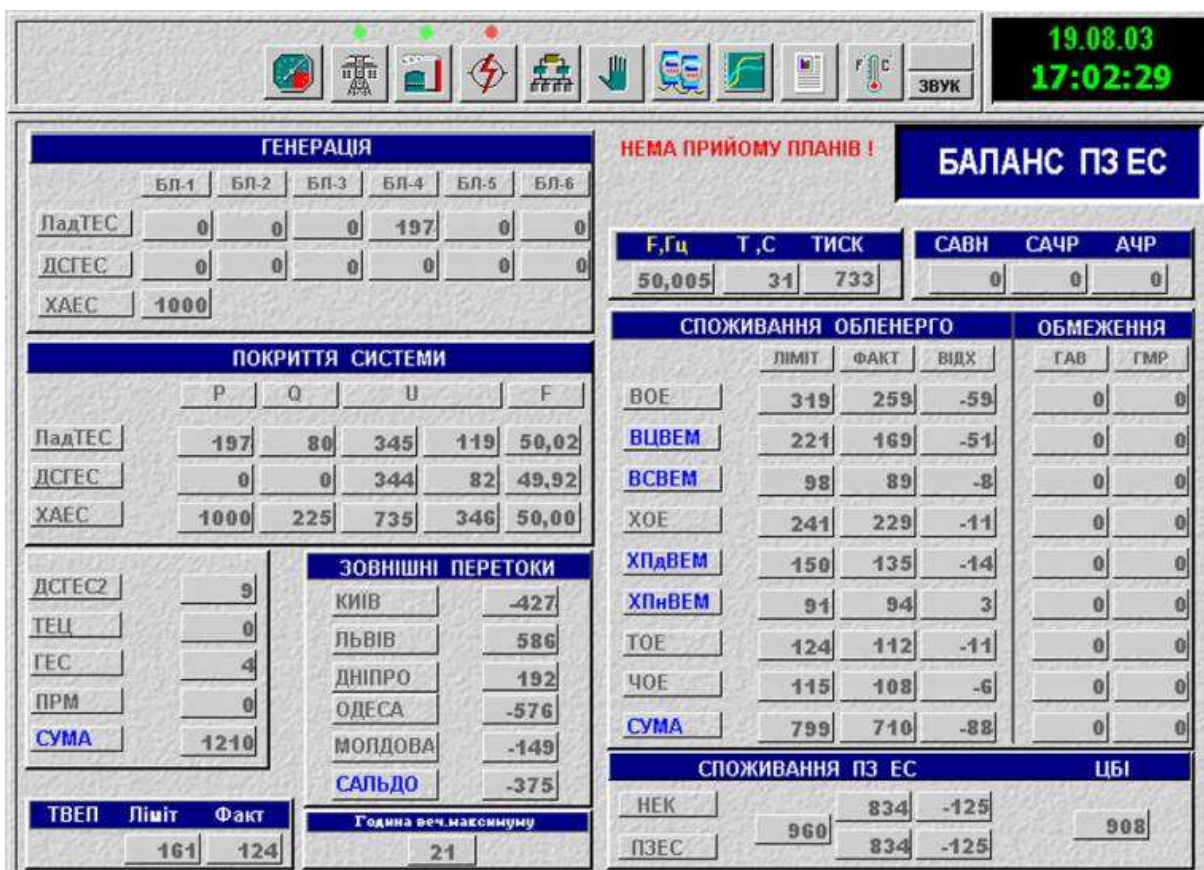


Рисунок 5.2 – Відображення балансу електроенергії ПЗЕС у ОІК АСДК

При створенні програмного забезпечення агрегованого ОІК АСДК Південно-Західної ЕС були випробувані й застосовані технології SCADA системи TRACE MODE.

Агрегований оперативно-інформаційний комплекс автоматизованої системи диспетчерського керування виконує наступні функції:

- приймання телеметричної інформації від конвертора протоколів (КПР) у МРВ за допомогою спеціального драйвера;
- приймання усередненої за 3 хвилини електричної потужності з лічильників електроенергії від системи комерційного обліку електроенергії (АСКУЕ) по локальній обчислювальній мережі;
- введення інформації від годинної станції (час, температура, тиск, частота мережі) за допомогою спеціального драйвера;
- використання механізму DDE (Netdde) для введення інформації, сформованої по графіках споживання;
- ручне інтерактивне введення інформації;
- масштабування телеметричної інформації;
- контроль телеметричної інформації із вставок;
- контроль вірогідності телеметричної інформації;
- дорозрахунок необхідних параметрів за допомогою мов програмування FBD і PL;
- інтегрування телевимірювань і розрахункових параметрів;
- архівування інформації;
- відображення інформації за допомогою широкого спектру надаваних TRACE MODE форм відображення;
- звукова й світлова сигналізація по запрограмованих умовах;
- забезпечення діалогу з користувачем;
- формування диспетчерської відомості;
- міжрівневий обмін з ОІК Обленерго;
- інформаційна взаємодія з іншими обробними програмами через базу даних MS SQL з використанням ODBC;

- забезпечення доступу до інформації ОІК через Internet з використанням WEB- активатора;
- приймання інформації від інформаційно–діагностичного комплексу типу "Регіна" за технологією OPC із можливістю доступу до інформаційних файлів аварійних подій реєстратора з використанням Web-Технологій.

Відмінною рисою даного комплексу є те, що вперше в енергетиці України здійснено зв'язок Scada-Системи з інформаційно–діагностичним комплексом (ІДК) "Регіна" за технологією OPC сервер – OPC клієнт.

На сьогоднішній день "Регіна" являє собою мікропроцесорний інформаційно-вимірювальний комплекс, що полягає з декількох реєстраторів "Регіна", об'єднаних локальною мережею Ethernet навколо РС–сервера. Цей комплекс призначений для реєстрації й вимірювання аналогових сигналів, фіксації зміни стану дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінки функціонування первинного електроенергетичного обладнання, а також пристроїв релейного захисту й автоматики, визначення місць пошкоджень при коротких замиканнях на лініях електропередач і інших параметрів. Враховуючи потенційну можливість ІДК "Регіна" видавати діючі значення струму, напруги, потужності й частоти з інтервалом часу 1 сек, було об'єднано ІДК "Регіна" і Scada-Систему ОІК АСДК енергосистеми, щоб:

- замінити реєстраторами "Регіна" існуючі пристрої телемеханіки;
- підвищити точність виміру значень струму, напруги й потужності;
- суттєво підвищити швидкість подачі експрес-інформації диспетчерові енергосистеми;
- поліпшити сервіс доставки аварійної інформації для релейного персоналу енергосистеми.

Для розв'язку поставлених завдань для ІДК "Регіна" був розроблений WEB–сервер і OPC (OLE for Process Control)-сервер з дотриманням

міжнародного стандарту OPC (версія 2.0). Для прийому інформації до Scada-Систему використовується Опс-Клієнт, що стандартно поставляється в системі TRACE MODE.

Зараз диспетчерові енергосистеми на екран дисплея ОІК за лічені секунди після реєстрації аварійної події автоматично подається експрес-інформація.

Таким чином інформаційне забезпечення енергосистеми відіграє важливу роль у забезпеченні технологічного процесу та безперебійного за живлення споживачів ЕС.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДСТАНЦІЇ

6.1 Опис об'єкта дослідження ПС-330 кВ "Вінницька"

Підстанція побудована і введена в експлуатацію у 1965 році.

Вона складається з двох ВРП 330 та 110 кВ. ВРП 330 кВ виконано по схемі багатокутника, а ВРП 110кВ по схемі «дві системи збірних шин з обхідною». Зовнішній вигляд ВРП 330 та 110 кВ приведено на рис.6.1 та 6.2.

На підстанції встановлено *автотрансформатори* типу АТДЦТН - 200000/330/110/10 кВ. Диспетчерське найменування – „АТ-1” ввід в експлуатацію 1991р., „АТ-2” - 1986р.

Загальна потужність АТ-400 МВА, в т.ч. „АТ-1” - АТДЦТН-200000/330/110/10 (1шт.) - 200 МВА; „АТ-2” - АТДЦТН-200000/330/110/10 – (1шт.) – 200 МВА.

На підстанції встановленні вимикачі 330 кВ:

ВВ-330Б – комірки „3В-6В”;

ВВН-330 – комірка "2В";

ЗАР2F1 363 – комірка "1В".

Заводи-виробники - "Уралелектротяжмаш" м. Єкатеринбург, "Електроапарат" м. С.Петербурґ, фірма "Siemens" Німеччина.

"1В" – введений в експлуатацію в грудні 2009 року

„4В” - введення в експлуатацію 1987 рік;

„3В” - введення в експлуатацію 1989 рік;

„5В”, „6В” - введення в експлуатацію 1969-1971 роки;

„2В” - введення в експлуатацію 1965 рік;

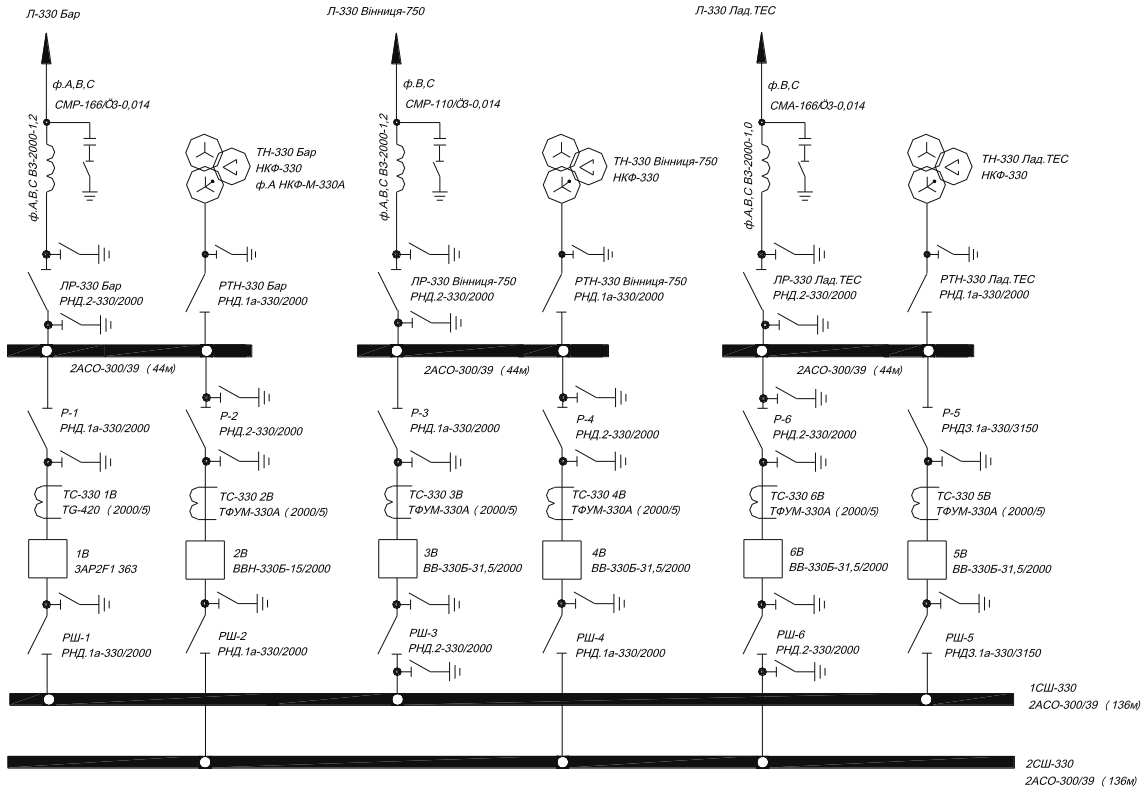


Рисунок 6.1 – Відкритий розподільчий пристрій 330 кВ

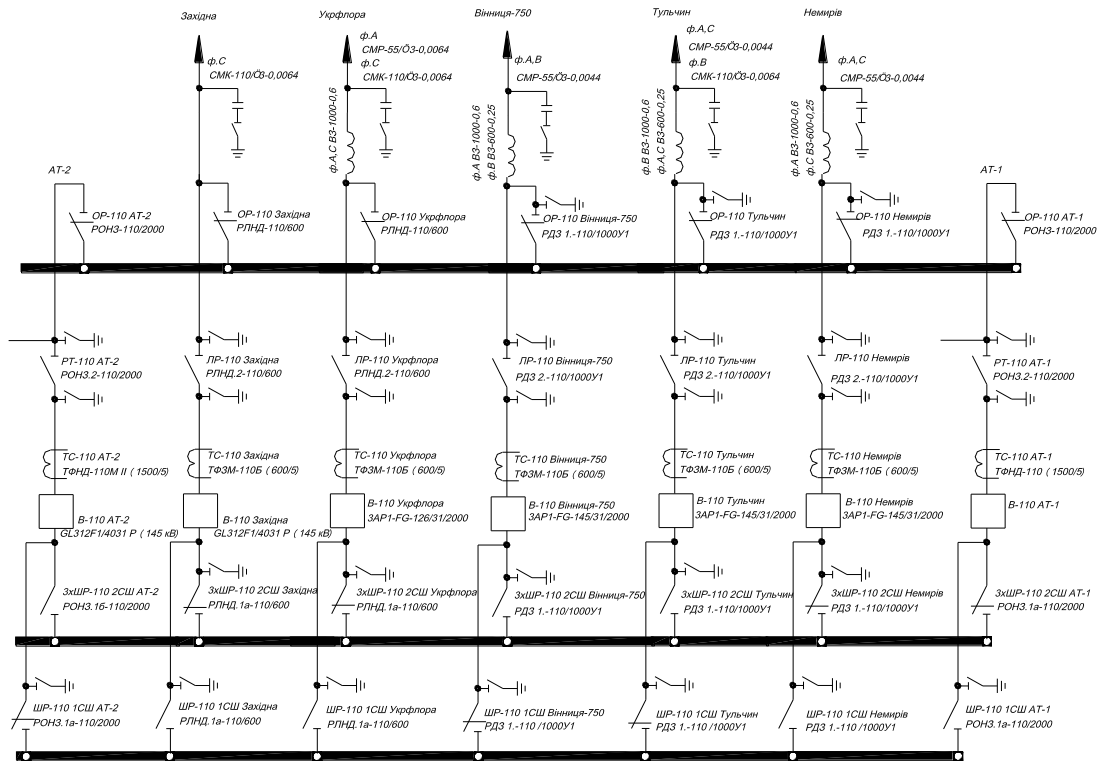


Рисунок 6.2 – Фрагмент відкритого розподільчого пристрою 110 кВ ПС-330 кВ "ВІННИЦЬКА"

Вимикачі 110 кВ:

- ВВШ-110 - 3 одиниці, введення в експлуатацію 1965-1977 рік.
- ВВБМ-110Б - 1 одиниця, введення в експлуатацію 1986 рік.
- ЗАР1FG – 145/40/3150 – 4 одиниці, введення в експлуатацію 2007 рік.
- ЗАР1FG – 126/40/3150 – 1 одиниця, введення в експлуатацію 2008 рік.
- GL312 F1/4031 P (145 кВ) – 6 одиниць, введення в експлуатацію 2008 рік.

Заводи-виробники - "Електроапарат" м. С.-Петербург та "Уралелектротяжмаш" м. Єкатеринбург, фірма Siemens, та фірма AREVA.

Коефіцієнт заміни запасних частин повітряних вимикачів сягає обсягу 50%. Внаслідок великого фізичного спрацювання необхідна заміна повітряних вимикачів, які відпрацювали свій ресурс.

У грудні 2009 року виконано заміну повітряного вимикача типу ВВ-330Б у комірці "1В" на елегазовий типу ЗАР2F1 363 виробництва фірми "Siemens" Німеччина.

На підстанції встановленні роз'єднувачі 330 кВ типу:

РНД.1-330/2000 - 10 одиниць;

РНД3.2-330/2000 - 8 одиниць;

РНД3.1-330/3150 - 2 одиниць;

Ведені в експлуатацію в 1965-1990 році.

роз'єднувачі 110 кВ типу:

РОНЗ-110/2000 - 2 одиниці;

РОНЗ.1-110/2000 - 4 одиниці;

РОНЗ.2-110/2000 – 2 одиниці;

РЛНД-110/600 - 8 одиниць;

РЛНД.1-110/600 - 18 одиниць;

РЛНД.2-110/600 - 10 одиниць;

РЛНД.1а-110/2000 - 2 одиниця;

РЛНД.2-110/2000 - 1 одиниць;

РДЗ-1-110П/1000У1-9 одиниць;

РДЗ-2-110П/1000У1-3 одиниці.

Введені в експлуатацію – 1965-2006 році.

Завод-виробник - Великолуцький завод високовольтної апаратури та ЗЗВА.

Роз'єднувачі 330 кВ (18 одиниць типу – РНД.1-330/2000 та РНД.2-330/2000) потребують заміни на нові в зв'язку з відсутністю запасних частин та тривалим терміном експлуатації.

В вересні 2009 року виконано капітальний ремонт роз'єднувача 330 кВ типу РНД-330 диспетчерська назва "РШ-6".

У 2009 році здійснена заміна опорно-стержньової ізоляції на ізоляцію типу ІОС-35-1000 в кількості 528 шт. роз'єднувачів 330 кВ диспетчерські найменування РТ-330 "АТ-1", РТН-330 "Бар", Р-1, Р-4, РШ-6.

Також у 2009 році виконано заміну приводів роз'єднувачів 330 кВ, диспетчерські найменування РТ-330 "АТ-1", РТН-330 "Бар", Р-1, Р-4 на привода типу ПДР-330 У1.

Крім того під час проведення ремонтів роз'єднувачів здійснена заміна опорно-стержньової ізоляції на ізоляцію типу ІОС-110-600 у кількості 5 шт., типу ІОС-110-400 у кількості 5 шт., типу ІОС-35-1000 у кількості 20 шт.

На підстанції використовуються вимірювальні трансформатори струму 330 кВ:

ТФУМ-330А-ІІ (2000/5 А) - 15 одиниць, 1985-1989 року виробництва;

ТГ-420 (2000/5) - 3 одиниці, 2009 року виробництва;

трансформатори струму 110 кВ:

ТФЗМ-110Б (600/5 А) - 33 одиниці;

ТФНД-110М (1500/5 А) - 6 одиниць;

ТФНД-110М (2000/5 А) - 6 одиниць;

ТФНД-110 (1000/5 А) - 3 одиниці;

1965-2004 роки введення в експлуатацію.

Заводи-виробники - Електроапаратний завод м. Запоріжжя та фірма "АВВ" Швеція.

Трансформатори напруги:

НКФ-330 - 8 одиниць, 1965-2003 року виробництва;

НКФ-М-330 А - 1 одиниця, 1996 року виробництва;

НКФ-110 - 6 одиниць, 1965-1968 року виробництва.

Заводи-виробники – Московський електротехнічний завод та Електроапаратний завод м. Запоріжжя.

У лютому 2009 року були замінені три фази трансформаторів струму 330 кВ в комірці "1В" на трансформатори струму типу TG-420 фірма "АВВ" Швеція по причині встановлення в комірці "1В" нового елегазового вимикача. Заплановані до заміни трансформатори струму в комірці "6В" були замінені на трансформатори струму типу ТФУМ-330А-ІІ демонтовані із комірці "1В". Причина заміни – підвищений вміст газів в маслі.

В якості засобів обмеження перенапруг використовуються розрядники :

РВМГ-330 - 3 одиниці, 1968 року виробництва;

ОПН-330 (ЗР7SR276-L5EM7-4) – 3 одиниці, 2007 року виробництва;

РВС-110 - 3 одиниці, 1994 року виробництва;

ОПН-110 (ЗНРСР108-L5E2М3) – 9 одиниць, 2007 року виробництва.

Заводи-виробники - Великолукський завод високовольтної апаратури та компанія "Тайко Електронікс".

Для забезпечення живлення кіл оперативного струму на підстанції встановлена акумуляторна батарея типу СК-8. Кількість елементів 106 одиниць.

На підстанції встановлено 3 компресори ЗВШ-1,6-3/46 та 1 компресор ЗВШ-1,6-3,3/41.

У червні 2009 року проведено капітальний ремонт компресора ЗВШ-1,6-3/46, диспетчерська назва "КЗ".

6.2 Оціночний розрахунок проекту інформаційної системи ПС-330 кВ "Вінницька" у середовищі СКАДА системи Trace Mode 6.0

Кошторис вартості проекту оформлений у вигляді таблиць (див. табл. 6.1-6.5). У ньому присутні всі найменування необхідного технологічного обладнання, видів робіт та підготовчої бази для впровадження проекту.

Приймаємо кількість датчиків струму та напруги по кількості приєднань до підстанції на всіх напругах. Ці датчики призначені для безконтактного вимірювання постійного, змінного та імпульсного струмів в діапазонах $\pm 57 \dots \pm 950$ А.

Кількість датчиків положення приймаємо рівною кількості вимикачів та роз'єднувачів встановлених на підстанції. Чутливою частиною цих датчиків є торцева площина, перпендикулярна до осі датчика. Циліндричні датчики мають діаметр від 3 мм (без різьби) або 4 мм (з різьбою) до 30 мм (з різьбою) або 40 мм (гладкі, з корпусом під затискач).

Лічильники встановлюються на всіх лініях, що відходять від підстанції, приймаємо кількість лічильників – 14 шт. Планується встановлення лічильників “Енергомера СЕ304” –багатофункціональний трифазний електролічильник активної і реактивної енергії з передачею даних по двом інтерфейсам одночасно. Призначений для вимірювання активної і реактивної електроенергії, активної, реактивної і повної потужності, енергії питомих втрат, частоти напруги, середньоквадратичного значення напруги і сили струму у трифазних чотирьох провідних колах змінного струму.

Для передачі/прийому даних в стандарті GSM 900/1800, з максимальною швидкістю до 14400 бод/сек і коротких повідомлень (SMS) використаємо GSM модем Siemens "TC-35i"-TERMINAL у кількості 1 шт.

Для аналогово-цифрового та зворотного перетворення сигналів та передачі їх у промислову інформаційну мережу використаємо перетворювачі ОВЕН МВА8 – восьми канальний універсальний вимірювальний модуль для розподілених систем управління в мережі RS-485, автоматичний перетворювач інтерфейсів USB/RS-485 ОВЕН АС4 та модуль дискретного вводу/виводу ОВЕН МДВВ. Заплановану кількість обладнання та її вартість занесемо у табл.6.1.

Таблиця 6.1 – Кошторисна вартість вимірювально–перетворювальної апаратури

Найменування	Модифікація	Кількість од.	Вартість, грн.	Сума, грн.
Датчик струму	CSLA1EL	16	602,4	9638,4
Датчик напруги	ДТТ	16	602,4	9638,4
Датчик положення	NBB5-18GK50	81	30,12	2439,72
Лічильник “Енергомера”	CE 304	14	4267	59738
Модуль аналоговий вводу	ОВЕН МВА8	2	527,1	1054,2
Модуль дискретного вводу/виводу	ОВЕН МДВВ	16	527,1	8433,6
Автоматичний перетворювач інтерфейсів USB/RS-485	ОВЕН АС4	2	276,1	552,2
GSM модем	Siemens "TC-35i"-TERMINAL	1	1757	1757
Маршрутизатор	Cisco 2621XM	1	5522	5522
Модем для виділеної лінії	GVC 56K SF1156V/R21	1	286,14	286,14
Разом:				99059,66

У якості серверу SCADA системи використаємо обладнання занесене в табл.6.2.

Таблиця 6.2 – Сервер інформаційної системи

Найменування	Intel Core 2 Quad Q6600	Ціна, у.о.
материнська плата	Gigabyte GA-P35-S3, DDR2, SATA2	110
Процесор	Intel Core 2 Quad Q6600	300
Відеокарта	ASUS Gforce 8800 GT 320Mb/320bit	320
Пам'ять	DDR2 2048 Mb	80
Вінчестер	WD SATAII, 500Gb, 7200, 16 Mb cash	139
FDD 3,5"	1,44	7
DVD-RW	NEC 7173 SATA	38
Звукова карта	вбудована	-
Колонки	3NOD B535	27
Корпус з б/п	CoolerMaster 380 W	110
Монітор	19" TFT Samsung 961 BF, 2ms	360
Модем	D-Link DFM-560E, V.90	66
Клавіатура	Mitsumi WIN95	9
Мишка	Mitsumi 2 кн	5
Килимок		1
Шнури	Жв., модем., ...	5
Разом		1577

У якості автоматизованого робочого місця оператора використаємо обладнання занесене в табл.6.3.

Витрати на придбання інформаційно-діагностичного комплексу "Регіна" з послугами наладки та панеллю управління. Передбачається придбання реєстратора з можливістю обробки 32 аналогових сигналів та 16 цифрових (табл.6.4).

Таблиця 6.3 – Автоматизоване робоче місце оператора

Найменування	Intel Celeron D331	Ціна, у.о.
материнська плата	ASUS P5-GZ-MX 945G, DDR2, SATA	62
Процесор	Intel Celeron D331	38
Відеокарта	вбудована	-
Пам'ять	DDR2 512 Мб	22
Вінчестер	WD SATAII, 80Gb, 7200, 8 Мб	53
FDD 3,5"	1,44	6
DVD-RW	ASUS DRW-1612	33
Звукова карта	вбудована	-
Колонки	3NOD B535	27
Корпус з б/п	Codegen 6066	35
Монітор	19" TFT Samsung 961 BF, 2ms	360
Модем	D-Link DFM-560E, V.90	66
Клавіатура	Mitsumi WIN95	9
Мишка	Mitsumi 2 кн	5
Килимок		1
Шнури	Жв., модем., ...	5
Разом		722

Таблиця 6.4 – Вартість ІДК "Регіна"

Найменування	Кількість од.	Вартість, грн.
Встановлення системи з послугами наладки	1	150000
Панель управління ІДК "Регіна"	1	85000
Разом:		235000

Витрати на монтаж електрообладнання, програмне забезпечення, навчання персоналу, інформаційний супровід занесемо в таблицю 6.5

Таблиця 6.5 – Витрати на монтаж та експлуатацію датчиків та програмного забезпечення TRACE MODE 6.0

Найменування		Кількість од.	Вартість, грн.
Програмне забезпечення	Trace Mode 6.0	1	3508,98
	NetLink	1	3162,6
	МРЧ+ (512)	1	10813,08
Література		1	853,4
Навчання персоналу		2	3584,28
Впровадження програмного забезпечення			15000
Монтаж та введення в експлуатацію комунікацій			18000

Сумарна кошторисна вартість проекту з послугами монтажу, наладки та навчання персоналу складає:

$$K=99059,66+1577*7,9+722*7,9+54922+25000=422143 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано аналіз інформаційного забезпечення управління енергосистемою.

В першому розділі роботи наведено основні відомості та поняття про системи передачі інформації, приведено загальну модель комунікаційної мережі. Досліджено модель взаємодії відкритих систем яка підтримується стандартами Міжнародної Електротехнічної Комісії.

В другому розділі бакалаврської дипломної роботи досліджено існуючі галузеві інформаційні документи стосовно інформаційного забезпечення процесів передачі та постачання електроенергії. А саме інформаційного забезпечення САК та АСКУЕ.

Відповідно до теми обраної роботи в третьому розділі розглянуто основні канали зв'язку систем передачі інформації в енергетиці та схеми їх улаштування.

Четвертий розділ присвячено автоматизації диспетчерського управління та збору даних за допомогою СКАДА систем, досліджено можливі архітектури цих систем та розглянуто основні положення.

В п'ятому розділі досліджено реальну архітектуру ОІК АСДК Південно-Західної Енергосистеми, розглянуто основні її можливості та інформаційне забезпечення.

В останньому розділі приведено оціночний розрахунок проекту інформаційної системи у середовищі СКАДА системи Trace Mode 6.0 для підстанції

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Країни учасники міжнародної електротехнічної комісії.
http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=102:16:0:::FSP_ORG_ID:1030. // Електронний ресурс.
2. ГОСТ Р МЭК 870-5-1-95 // Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 1. Форматы передаваемых кадров.
3. ГОСТ Р МЭК 870-5-3-95 // Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 3. Общая структура данных пользователя
4. ГОСТ Р МЭК 870-1-2-95 // Устройства и системы телемеханики. Часть 1. Основные положения. Раздел 2. Руководство по разработке технических требований
5. ГІД 34.20.178 :2005 Проектування електричних мереж напругою 0,4-110 кВ. Рекомендації.
6. «Руководящие указания по выбору объемов информации, проектированию систем сбора и передачи информации в энергосистемах» № 13861тм-т1. М. ЭСП, 1991.
7. Правила улаштування електроустановок. (ПУЕ). Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.5
8. «Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах ринку» / <http://lawua.info/bdata3/ukr3050/index.htm> // Електронний ресурс;
9. «Правила користування електричною енергією» / <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1357-99-%EF> // Електронний ресурс.