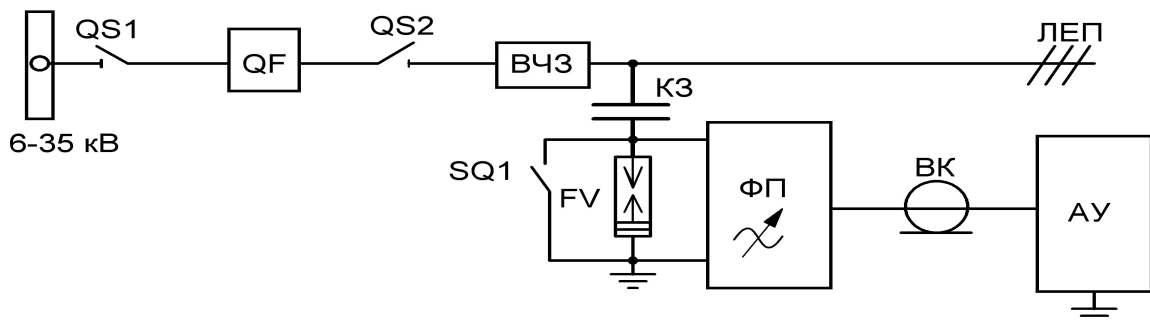


ТЕЛЕМЕХАНІКА ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



УДК 621.311: 621.398
ББК [31.27-05]

*Затверджено Вченою радою Кіровоградського
національного технічного університету
(протокол № 4 від 21. 12. 2015 р.)*

Автори:

*Плешков П. Г., к.т.н., професор, Серебренніков С. В., к.т.н., доцент,
Петрова К. Г., к.т.н.*

Рецензенти:

О.М. Сінчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

С.І. Осадчий, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету.

Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / [Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 150 с.

Розглянуто теорію передавання телемеханічної інформації, принципи побудови та функціонування сучасних телеінформаційно-керуючих комплексів, їх застосування на всіх рівнях диспетчерського управління енергосистемами. Наведено дані щодо елементів та вузлів пристроїв телемеханіки, дешифраторів, кодоперетворювачів тощо.

Для студентів, магістрантів та аспірантів електроенергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також інженерно-технічних працівників, котрі займаються розробленням, проектуванням та експлуатацією інформаційно-керуючих та телемеханічних систем в електроенергетиці.

УДК 621.311: 621.398

ББК [31.27 - 05]

© Колектив авторів, 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕЛЕМЕХАНІКИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ.....	9
1.1. Функції телемеханіки.....	9
1.2. Основні завдання телемеханіки та їх особливості.....	10
1.3. Типові структури систем телемеханіки.....	10
1.4. Функціональні блоки систем телемеханіки.....	11
2. ТЕЛЕМЕХАНІЧНІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	15
2.1. Телемеханічні повідомлення.....	15
2.1.1. Основні характеристики телемеханічних повідомлень.....	15
2.2. Фізичні характеристики телемеханічних сигналів.....	15
2.2.1. Основні характеристики та ознаки сигналу.....	15
2.2.2. Частотні спектри сигналів.....	17
2.2.3. Об'єм сигналу.....	22
2.3. Похибки телевимірювань.....	23
2.4. Обслуговування випадкових контрольованих процесів у телеінформаційних системах.....	24
2.4.1. Обслуговування випадкових контрольованих процесів $y(t)$	24
2.4.2. Якість обслуговування контрольованих процесів в телеінформаційних системах.....	25
2.5. Похибка телепередавання в кодоімпульсних системах телевимірювань.....	26
3. ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ СИГНАЛІВ.....	29
3.1. Завадостійкість дискретних сигналів.....	30
3.2. Завадостійкість порогового приймача.....	31
3.3. Завадостійкість приймача Котельникова.....	33
3.4. Приймач, що контролює фазу сигналу.....	36
3.5. Контроль якості сигналу.....	37
4. ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ У ТЕЛЕМЕХАНІЦІ.....	39
4.1. Інформація та керування.....	39
4.2. Зв'язок кількості інформації з невизначеністю події.....	40
4.3. Кількість інформації в подіях з різноймовірними результатами. Ентропія 41	
4.4. Визначення кількості інформації у телемеханічних повідомленнях на основі поняття ентропії.....	43
4.4.1. Початкова інформація у випадку телесигналізації.....	43

4.4.2. Кількість інформації у повідомленні за наявності завад під час передавання.....	44
4.4.3. Інформація щодо стану об'єктів ТС на контрольованому пункті.....	46
4.5. Кількість інформації в безперервних повідомленнях.....	49
5. СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОДІВ.....	53
5.1. Основні поняття та визначення.....	53
5.2. Основні характеристики кодів.....	53
5.3. Числові коди.....	54
5.4. Захист двійкового коду.....	55
6. ПЕРЕДАВАННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ У ТЕЛЕМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ.....	56
6.1. Модеми каналів телемеханіки.....	56
6.2. Канали зв'язку та особливості передавання повідомлень.....	59
6.3. Формати передавання повідомлень в системах телемеханіки.....	64
6.4. Ефективність передавання кодових форматів.....	65
6.5. Стандартні кодові формати передавання інформації в системах телемеханіки.....	66
7. ВИСОКОЧАСТОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК ПО ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ	
68	
7.1. Пристрої приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання.....	68
7.1.1 Фільтри приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання.....	70
7.1.2. Високочастотний загороджувач.....	72
7.2. Схеми приєднання до дротів ЛЕП.....	75
7.2.1. Високочастотні тракти по фазних проводах.....	75
7.2.2. Схема "провід-провід" розщепленої фази.....	77
7.2.3. Високочастотні тракти по грозозахисних тросах.....	78
7.2.4. Вибір частот для каналів ВЧ зв'язку.....	79
7.3. Розрахунок ВЧ трактів по розподільчих мережах 35 ÷ 500 кВ.....	79
7.3.1. Визначення найбільшої можливої частоти.....	79
8. ЕЛЕМЕНТИ ТА ВУЗЛИ ПРИСТРОЇВ ТЕЛЕМЕХАНІКИ.....	92
8.1. Класифікація елементів.....	92
8.2. Електромагнітне реле.....	92
8.3. Інтегральні мікросхеми. Логічні елементи. Тригери.....	94
8.4. Дешифратори. Шифратори. Лічильники.....	96

8.5. Регістри, розподілення і комутатори.....	98
8.6. Кодоперетворювачі. Компоратори. Частотні селектори.....	100
9. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ	
103	
9.1. Автоматизовані системи управління ТП ПС та мікропроцесорне устаткування.....	104
9.2. Системи автоматичного регулювання частоти й потужності.....	109
9.3. Автоматизовані системи диспетчерського управління району електричних мереж.....	111
9.4. Автоматизовані системи диспетчерського управління рівня підприємства електромереж і обленерго.....	112
9.5. Автоматизовані системи диспетчерського управління мережами 220 - 750 кВ	113
9.6. Автоматизовані системи обліку електричної енергії.....	119
9.7. Контроль якості електричної енергії.....	134
9.8. Автоматизовані системи розрахунку з постачальниками й споживачами (білінгові схеми).....	142
9.9. Інтегровані системи керування виробництвом.....	147
ЛІТЕРАТУРА.....	150

ВСТУП

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

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

Електроенергетична система у порівнянні з іншими енергосистемами (наприклад, газо- та водопостачання) є найскладнішою та найрозгалуженішою. Режими роботи всіх об'єктів ОЕС мають бути узгодженими між собою та перманентно забезпечувати спільні показники роботи системи загалом: електроенергетичний баланс, високу якість електроенергії, надійність тощо. Розбалансування енергосистеми України спричиняє аварійні ситуації, пошкодження виробничого устаткування, масове бракування продукції та значні економічні збитки від вимушених простоїв. Підвищені вимоги до енергосистеми щодо кількості та якості вироблюваної енергії та надійності електропостачання можуть бути задоволені лише у разі високої організації процесу управління на базі сучасних засобів телемеханіки, пристроїв автоматики та релейного захисту, а також узгоджених дій персоналу диспетчерських пунктів та центрів керування, обладнаних засобами передавання, оброблення та відображення оперативної інформації.

Особливості технологічного процесу вироблення та розподілення **електроенергії** (ЕЕ), а відповідно організації системи телемеханіки в ОЕС наступні:

- а) одночасність вироблення і споживання ЕЕ, що вимагає безперервної підтримки кількісного балансу між виробленням і споживання ЕЕ;
- б) безперервність процесу вироблення і споживання ЕЕ за безперервного контролю за процесом;
- в) швидкий перебіг перехідних процесів у всіх областях технологічного ланцюга вироблення і розподілу ЕЕ;
- г) територіальна віддаленість об'єктів енергосистеми один від одного і від пункту централізованого управління;
- д) необхідність забезпечення чіткої взаємодії всіх елементів енергосистеми і всієї системи в цілому.

Для централізованого управління електроенергетикою існує спеціальна служба **диспетчерського** управління, яка повинна для безперебійного постачання споживачів електричною енергією належної якості забезпечити:

- планування і ведення режимів роботи електричних станцій, мереж і енергосистеми загалом;

- планування і підготовка ремонтних робіт;
- забезпечення надійності функціонування енергосистеми;
- виконання вимог до якості ЕЕ;
- запобігання та ліквідація технологічних порушень під час виробництва, передавання та розподілу електроенергії тощо.

Диспетчерські пункти всіх рівнів управління повинні бути оснащені автоматизованими системами диспетчерського управління (АСДУ). Пов'язані між собою АСДУ різних рівнів утворюють єдину, ієрархічну АСДУ ОЕС.

Завдання, які вирішують за допомогою АСДУ наступні:

- короткострокове планування режимів ОЕС та ЕС;
- оперативне управління технологічними режимами ОЕС, в нормальних, критичних та аварійних ситуаціях;
- оперативне управління налаштуванням і уставками автоматичних систем, в тому числі – введення/виведення в ремонт;
- оперативне управління схемою і режимами на електричних станціях для забезпечення ремонтів устаткування, введення (виведення) в резерв, оптимального використання резервів, балансування режимів, синхронізації для відновлення паралельної роботи ЕС;
- оперативне управління схемою і режимами на підстанціях для забезпечення ремонту устаткування, підтримання необхідного напруги, контроль за граничними режимами;
- автоматичне керування (АРЧМ і перетоків потужності, системи централізованого регулювання напруги, централізовані протиаварійні системи автоматики, системи телеуправління устаткуванням);
- довгострокове планування режимів ОЕС та ЕС;
- річне планування режимів основного генерувального і мережевого устаткування;
- розрахунки п'ятирічних балансів ЕЕ і потужності (річних, кварталних, місячних) тощо.

Метою вивчення дисципліни є опанування основ телемеханізації та автоматичного керування електротехнічними системами електроспоживання.

Завданням вивчення даної дисципліни є:

- засвоєння основних положень теорії телемеханічного передавання сигналів та принципів побудови систем телекерування, телерегулювання, телесигналізації і телевимірювань;
- вивчення технічних та експлуатаційних характеристик сучасних телемеханічних комплексів, опанування роботи з ними;
- ознайомлення з автоматизованими системами диспетчерського керування розподільчими мережами і автоматизованими системами керування (АСК) електропостачанням.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

знати: основи телемеханізації та автоматичного керування електротехнічними системами електроспоживання; принципи диспетчеризації електротехнічних систем електроспоживання; основні технічні засоби створення каналів зв'язку та принципи їх функціонування; основні принципи

передавання телемеханічної інформації між об'єктами електротехнічних систем електроспоживання;

вміти: розраховувати параметри технічних засобів передавання телемеханічної інформації – високочастотних загороджувачів та фільтрів приєднання до ліній електропередачі (ЛЕП); налаштовувати та експлуатувати сучасні телемеханічні комплекси, що використовують в електротехнічних системах електроспоживання.

Навчальний посібник надає уявлення про загальні теоретичні основи телемеханіки, принципи побудови та функціонування сучасних телеінформаційно-керуючих комплексів та їх застосування на всіх рівнях диспетчерського управління енергосистемами.

Навчальний посібник розрахований на студентів, магістрантів та аспірантів електроенергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також інженерно-технічних працівників, котрі займаються розробленням, проектуванням та експлуатацією інформаційно-керуючих та телемеханічних систем в електроенергетиці.

Висловлюємо подяку аспіранту кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту Стецю П.Г. за допомогу в оформленні рисунків до навчального посібника.

Побажання та зауваження щодо вдосконалення навчального посібника надсилайте Петровій К.Г. за адресою: група енергодосліджень та енергозбереження кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту (ауд. 251), Кіровоградський національний технічний університет, просп. Університетський, 8, м. Кіровоград, 25006.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕЛЕМЕХАΝІКИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

1.1. Функції телемеханіки

Телемеханіка – галузь техніки і науки щодо контролю та керування об'єктами на відстані за допомогою електричних сигналів, які передають через канали зв'язку.

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

Як і для будь-якої складної системи передавання даних, функції систем телемеханіки поділяють на кілька незалежних рівнів. Рівні, що розміщено нижче виконують функції обслуговування, рівні, розміщені вище є головними, з якими даний рівень обмінюється інформацією та оповіщає про помилку. Зазвичай кожен функціональний рівень пов'язаний з відповідним рівнем на іншій стороні каналу зв'язку.

Функції систем телемеханіки поділяють на наступні рівні:

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

Основні функції пристроїв телемеханіки в енергосистемах:

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

а) **телевимірювання** (ТВ, telemetering) – передавання по каналах зв'язку значень параметрів контрольованих процесів, що постійно змінні в часі (потужності, напруги, струмів тощо). Телевимірювання проводять або безперервно, або за викликом диспетчера. Розрізняють передавання всіх періодичних відліків ТВ (циклічне передавання) або ж передавання лише змінних значень (адаптивне). Контрольований ТВ параметр можна характеризувати поточним миттєвим або інтегральним значенням за певний проміжок часу. Відповідно застосовують терміни: "телевимірювання поточних значень" (ТПЗ) та "телевимірювання інтегральних значень" (ТІЗ).

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

в) **телесигналізація** (ТС, *teleindication*) – передавання дискретних сигналів щодо стану контрольованого устаткування (положення вимикачів потужності, роз'єднувачів, уставок автоматики тощо). Передавання ТС здійснюють або дискретно – під час зміни стану контрольованого об'єкту, або циклічно – безперервно з підтвердженням раніше визначеного стану. У більшості випадків ТС – це передавання однієї з двох позицій об'єктів (увімкнено/вимкнено).

г) *телерегулювання* (TR, *teleregulation*) – передавання керуючих впливів типу «додати-зменшити» від диспетчера до регулятора на контрольованому пункті.

1.2. Основні завдання телемеханіки та їх особливості

До основних завдань телемеханіки належать:

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

2. Робота телемеханічних систем у режимі *реального часу* – в темпі технологічного процесу (швидкість поширення електромагнітного поля $c=3 \cdot 10^8$ м/с). Тобто система телемеханіки має вносити мінімальне запізнення під час передавання інформації, наприклад:

- для систем автоматичного регулювання частоти і потужності затримка впливів має бути ≤ 1 с;
- для систем телекерування вимикачами потужності – кілька секунд;
- для систем телевідключення – кілька сотих секунди.

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

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

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

1.3. Типові структури систем телемеханіки

Типові структури систем телемеханіки визначає географія розташування диспетчерського і контрольованих пунктів та структура каналів зв'язку (рис. 1.3.1):

1) "пункт-пункт" (рис.1.3.1а): один пункт керування з'єднано з одним контрольованим пунктом (КП);

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

а) через N терміналів (рис.1.3.1б) – можливий одночасний зв'язок з кожним КП;

б) через спільний термінал (рис.1.3.1в) – передавання команд по чергово, за адресою КП;

3) магістральна (рис.1.3.1г) – пункт керування спільним каналом зв'язку зв'язаний з N КП (зв'язок за адресою);

- 4) транзитна структура (рис.1.3.1д) – пункт керування пов'язаний ланцюговим каналом з контрольованим пунктом, який ретранслює сигнал;
- 5) кільцева (рис.1.3.1е) – найнадійніша структура, оскільки зв'язок з КП зберігається з обох боків, а у разі пошкодження ділянки каналу зв'язок все одно зберігається;
- 6) гібридні, комбіновані, змішані структури (рис.1.3.1ж).

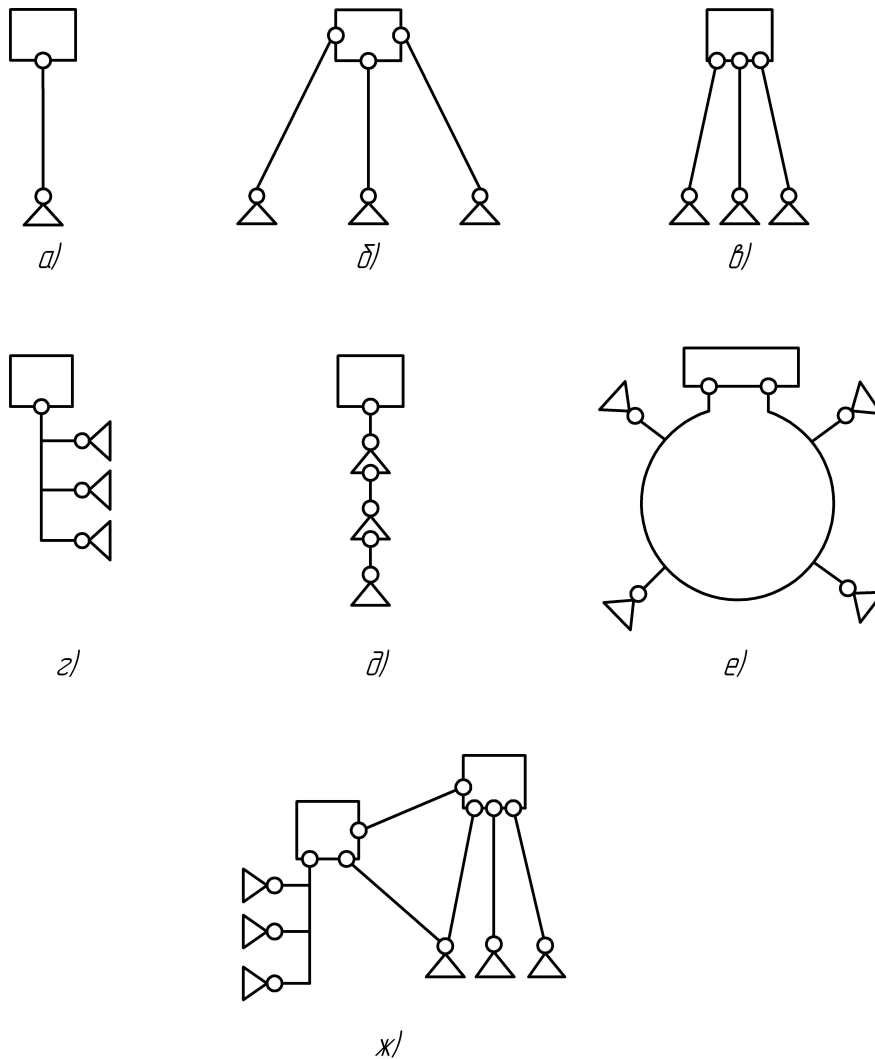


Рисунок 1.3.1 – Структури телемеханічних систем: а) "точка-точка"; б) багатоточкова радіальна "один-один"; в) багатоточкова радіальна "один - N"; г) багатоточкова магістральна; д) ланцюгова (транзитна); е) кільцева; ж) змішана ієрархічна

1.4. Функціональні блоки систем телемеханіки

На рис. 1.4.1. зображено узагальнену схему системи ТМ найпростішої структури «пункт - пункт». Система ТМ містить пункт управління (ПУ) та контрольований пункт (КП), котрі з'єднанні каналом зв'язку. Крайня апаратура каналу «модем» пов'язана із пристроєм телемеханіки (ПТМ) через стандартний або спеціалізований інтерфейс (у залежності від типу модему, який використовують). Спеціалізовані найпростіші модеми, що мають 4-провідний

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

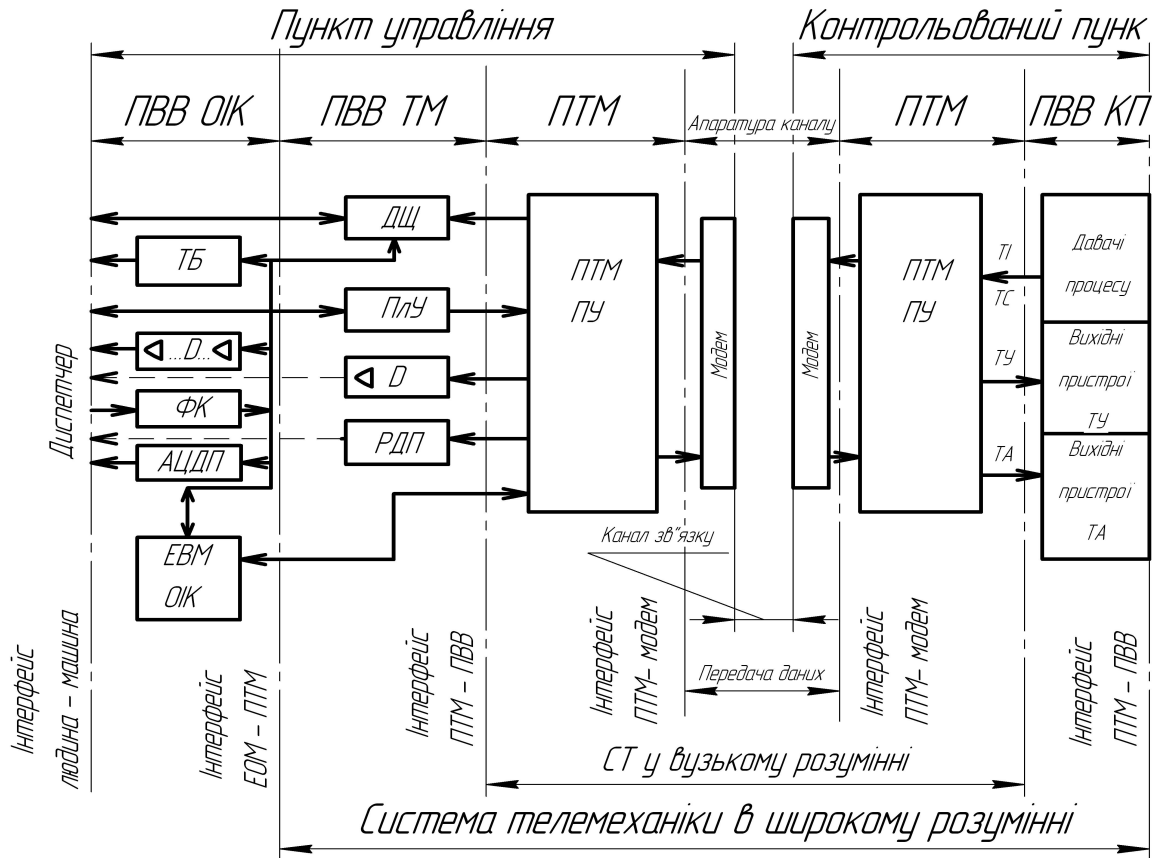


Рисунок 1.4.1 – Узагальнена схема системи телемеханіки «пункт-пункт»: ПВВ ОІК – пристрої введення-виведення оперативно-інформаційного комплексу; ПВВ ТМ – пристрої введення-виведення системи телемеханіки; ПТМ – пристрій телемеханіки; ПУ – пункт управління; КП – контрольований пункт; ПВВ КП - пристрої введення-виведення контрольованого пункту; ТБ – табло диспетчера; D – дисплеї; ФК – функціональна клавіатура; АЦДП – аналого-цифровий друкувальний пристрій; ДЩ – диспетчерський щит; ПЛУ – пульт управління; РДП – реєструвально-друкувальний пристрій; ТІ, ТС, ТУ, ТА – вхідні та вихідні сигнали пристроїв телемеханіки

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

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

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

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

Зведемо функціональні блоки та їх призначення до табл.1.4.1, розпочавши з боку контролюемого процесу.

Таблиця 1.4.1 – Функціональні блоки та їх призначення

№ з/п	Найменування блоку	Призначення	Апаратура
I	Блок входу-виходу на КП (з боку контролюемого процесу)	1) Перетворення контролюемого фізичного процесу в електричний сигнал на вході КП	Аналого-цифрові вхідні давачі телеконтролю, вхідні реле телесигналізації
		2) Перетворення сигналів на виході КП в команди оперативного керування	Вихідні реле телеуправління
II	Блок оброблювання вхідних та вихідних сигналів на КП	1) Фільтрація вхідних сигналів від завад	Вхідні фільтри
		2) Обробка вхідних сигналів – осереднення, інтегрування, підсумовування, телевимірювання	Логічні схеми Програми
		3) Перетворення аналог – код.	АЦП
		4) Запам'ятовування сигналів.	Оперативна пам'ять
		5) Контроль вірності телеуправління.	Логічні схеми
III	Блок кодування та декодування на КП та ПК	1) Паралельно-послідовне перетворення і навпаки	Регістри (програми)
		2) Формування завадозахищених кодів	Кодер
		3) Стискання сигналів	Декодер
		4) Захист від помилок	

Продовження табл. 1.4.1			
IV	Блок прийому-передачі сигналів	1) Передача по каналах зв'язку	Модем
		2) Контроль якості сигналу	Модем
		3) Синхронізація біт прийому-передачі	Модем
V	Блок оброблювання даних на ПК	1) Обчислювальні функції (осереднення, інтегрування, масштабування, підсумовування).	Програма
		2) Логічні функції (формування узагальнених телесигналів, сортування даних)	Програма
		3) Перетворення "код-аналог"	ЦАП
		4) Запам'ятовування сигналів	Оперативна пам'ять
VI	Блок входу-виходу на ПК (сторона диспетчера)	1) Перетворення сигналів виходу в доступну інформацію	Диспетчерський щит, дисплей
		2) Перетворення дій диспетчера в сигнали керування	Пульти керування, ключі керування
		3) Реєстрація даних діалогу "Людина-СТМ"	Журнал

2. ТЕЛЕМЕХАНІЧНІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. Телемеханічні повідомлення

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

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

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

2.1.1. Основні характеристики телемеханічних повідомлень

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

2. *Оперативність* передавання повідомлень.

Припустимі затримки під час передавання телемеханічних повідомлень визначають режимом реального часу.

3. *Мінімальний об'єм* каналу зв'язку $V_{КЗ}$:

$$V_{КЗ} = \Delta f_K \cdot T_K \cdot \lg \frac{P_C}{P_3}, \quad (2.1.1.1)$$

де Δf_K – частотна смуга каналу; T_K – тривалість зайнятості каналу; P_C/P_3 – відношення потужностей рівнів сигнал/завада.

4. Висока *інформативність* повідомлення, тобто кожне повідомлення має містити нові відомості.

2.2. Фізичні характеристики телемеханічних сигналів

2.2.1. Основні характеристики та ознаки сигналу

Сигнал - це фізичний процес, однозначно відповідний повідомленню, яке передають. Сигнал є переносником повідомлення або «транспортним засобом» для передавання повідомлення.

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

У передавальному пристрої телемеханіки ці сигнали піддають різним перетворенням з метою додання їм необхідних якостей по забезпеченню

надійності передавання по каналі зв'язку. Сигнали на виході передавального телемеханічного пристрою називатимемо телемеханічними сигналами.

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

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

Основні види імпульсних ознак наступні:

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

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

в) **широко-імпульсна (часова)** ознака – імпульсні послідовності різняться між собою за тривалістю. Під послідовностями розуміють як самі імпульси, так і відстані між ними. У першому випадку сигнал містить розділові інтервали постійної тривалості t_p , що відокремлюють один від одного імпульси селективної тривалості t_1 і t_2 . У другому випадку розділові інтервали в сигналі відсутні $t_p = 0$, а імпульси і паузи однакової тривалості $t_1 = t_2$ приймають за елементарні сигнали однієї якості. Якщо тривалості послідовностей різняться між собою як цілі числа, то такі сигнали називають сигналами з **дискретними широтними** (часовими) ознаками. Як правило, число селективних широтно-імпульсних ознак, використовуваних в одному телемеханічному пристрої, не перевершує трьох-чотирьох, хоча число ознак цього вигляду може бути і більшим.

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

г) **фазова** ознака - імпульсні послідовності відрізняються один від одного за фазою по відношенню до деяких опорних міток або опорної частоти, наявних у місці прийому. Певні телемеханічні пристрої використовують як опорну частоту мережі змінного струму. Найпростішої реалізації фазової ознаки в таких

системах досягають за двох ($m = 2$) крайніх значеннях фаз сигналів 0° і 180° . Можлива достатньо надійна відмінність сигналів і за значень $m_\varphi > 2$. Все залежить від стабільності часових характеристик приймально-передаючої апаратури, що впливають на зсув фаз, посланих і опорних сигналів.

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

Вибір робочих частот f_i повинен проводитися з урахуванням можливості появи бічних частот, співпадаючих з робочими в даній смузі ΔF_C . Селективність прийому імпульсів різних частот залежить від характеристик приймальних частотних фільтрів. Надійність селекції зростає із збільшенням відстані (кроку) між сусідніми частотами. Тому, чим ширша робоча смуга, тим більше число частотних ознак m_i може бути використано. Деякі телемеханічні пристрої використовують частотні імпульсні ознаки з $m_i = 10 \dots 16$.

2.2.2. Частотні спектри сигналів

Частотний спектр сигналу – це діапазон частот у каналі зв'язку, необхідний для передачі сигналу з допустимими спотвореннями за відсутності завад. Для частотних спектрів розрізняють періодичні і неперіодичні сигнали. Періодичні сигнали описують періодичними функціями часу. Реальні сигнали тільки на деякому обмеженому інтервалі часу можуть бути прийняті за періодичні. Загалом же всі телемеханічні сигнали є неперіодичними.

Спектри періодичних сигналів

Як відомо, будь-яка періодична функція $f(t)$ може бути представлена рядом Фур'є у вигляді нескінченної суми гармонійних складових:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \sin(k\omega_1 t + \varphi_k). \quad (2.2.2.1)$$

Амплітуди гармонійних складових A_k залежно від частоти $k\omega_1$ можуть бути представлені окремими відрізками висоти A_k віддаленими від початку координат на відстані $\omega = k\omega_1$.

Залежність $A_k = f(\omega)$ називають частотним **спектром** амплітуд.

Періодичні сигнали мають лінійчатий (дискретний) спектр (рис. 2.2.2.1). У загальному випадку спектри містять нескінченну кількість гармонік, амплітуди котрих зменшуються зі зростанням k до нескінченно малої величини.

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

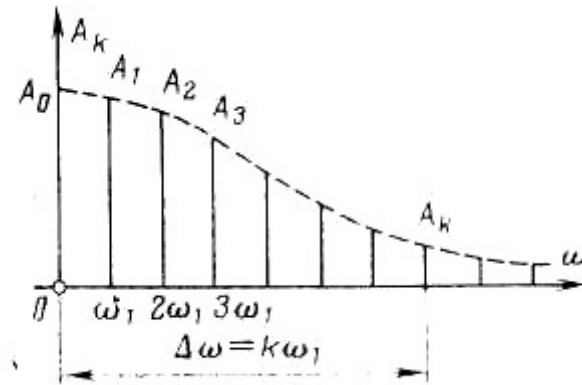


Рисунок 2.2.2.1 – Лінійчатий частотний спектр амплітуд

Послідовність прямокутних імпульсів постійного струму (*відеоімпульсів*) має наступні спектральні складові (рис. 2.2.2.2):

- постійну складову

$$A_0 = U_m \cdot \frac{t_i}{T}; \quad (2.2.2.2)$$

- складові k -х гармонік

$$A_k = \frac{2U_m}{k\pi} \cdot \sin\left[k\pi + \frac{t_i}{T}\right]. \quad (2.2.2.3)$$

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

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

$$k\pi \cdot \frac{t_i}{T} = [1, 2, 3, \dots, c] \cdot \pi,$$

тобто за значень $k = c \frac{T}{t_i}$, де k та c - цілі числа.

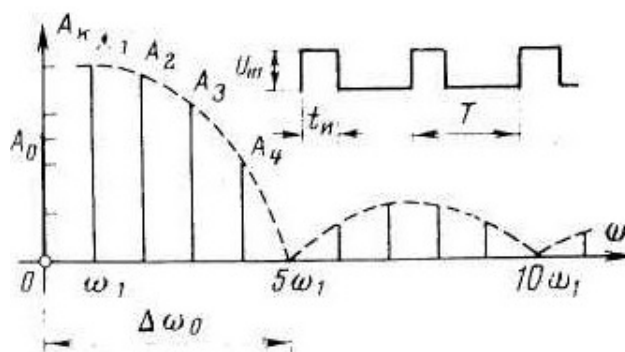


Рисунок 2.2.2.2 – Спектр періодичних прямокутних відеоімпульсів

Так, для $T/t_i = 2$, тобто за рівності тривалостей імпульсів і пауз в розкладанні будуть відсутні всі парні гармоніки ($A_k = 0$ за значень $k = 2, 4, 6$ тощо).

Ширина частотного спектру від осі ординат до першої нульової спектральної лінії $\Delta\omega_0$ становитиме:

$$\Delta\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot c_{MIN} \cdot \frac{T}{t_i}, \quad (2.2.2.4)$$

за відношення T/t_i , що дорівнює цілому числу $c_{MIN} = 1$, тобто:

$$\Delta\omega_0 = \frac{2\pi}{t_i}. \quad (2.2.2.5)$$

Якщо T/t_i не дорівнює цілому значенні, для визначення $\Delta\omega_0$ за виразом виразом (2.2.2.5) необхідно підібрати найменше ціле число c , яке перетворює добуток $\Delta\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot c_{MIN} \cdot \frac{T}{t_i}$ на ціле значення.

На рис. 2.2.2.2 наведено лінійчатий спектр періодичних прямокутних відеоімпульсів за значення $T/t_i = 5$.

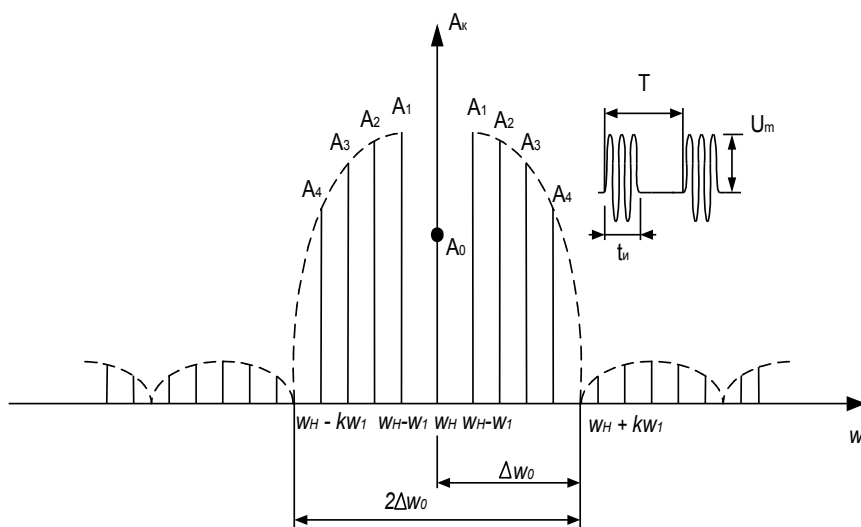


Рисунок 2.2.2.3 – Спектр періодичних прямокутних радіоімпульсів

Спектр **прямокутних радіоімпульсів** (рис. 2.2.2.3), тобто прямокутних імпульсів, наповнених несучою частотою $U_m \sin \omega_H t$, відрізняється від спектру прямокутних відеоімпульсів, що мають ту ж тривалість t_m та період повторення T , що і радіоімпульси, тим, що початок координат спектру відеоімпульсів переносять по осі ω в точку $\omega = \omega_H$ і симетрично відображають щодо нової осі ординат. Отже, складова спектру на несучій частоті:

$$A_{\omega_H} = U_m \cdot \frac{t_i}{T}, \quad (2.2.2.6)$$

складові спектру k -х гармонік:

$$A_{\omega_H \pm k\omega_1} = \frac{U_m}{k\pi} \cdot \sin \left[k\pi \cdot \frac{t_i}{T} \right]. \quad (2.2.2.7)$$

Відстань між спектральними лініями:

$$\Delta\omega_1 = \frac{2\pi}{T}. \quad (2.2.2.8)$$

Ширина спектру радіоімпульсів в 2 рази більше ширини спектру відеоімпульсів (рис. 2.2.2.3). Вона визначається параметрами відеоімпульсів і не залежить від несучої частоти.

Безперервні гармонійні коливання $u = U_m \cdot \sin \omega_H t$ можна розглядати як окремий випадок періодичної послідовності радіоімпульсів за значення $t_i = T$.

Підставляючи $t_i = T$ в формули розкладення, отримуємо:

$$A_{\omega_H} = U_m \cdot \frac{t_i}{T}; \quad (2.2.2.9)$$

$$A_{(\omega_H \pm k\omega_1)} = \frac{U_m}{k\pi} \cdot \sin k\pi = 0. \quad (2.2.2.10)$$

Таким чином, спектр гармонійних коливань подають однією спектральною лінією U_m в точці $\omega = \omega_0$.

Спектри неперіодичних сигналів

Розглянемо лінійчатий спектр деякої періодичної функції (наприклад, послідовність прямокутних імпульсів на рис. 2.2.2.2). Спектральні лінії в такому спектрі відстають один від одного на значення $\omega_i = 2\pi/T$.

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

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega. \quad (2.2.2.10)$$

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

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (2.2.2.11)$$

Знайдемо спектральну функцію для *одиночного прямокутного відеоімпульса* (рис. 2.2.2.4) $u = U_m$, $-\frac{t_i}{2} \leq t \leq \frac{t_i}{2}$:

$$S(\omega) = \int_{-t_i/2}^{t_i/2} U_m \cdot e^{-j\omega t} dt = \frac{U_m}{j\omega} \left[e^{j\omega t_i/2} - e^{-j\omega t_i/2} \right]. \quad (2.2.2.12)$$

Відповідно до (2.2.2.12) за значень $\omega \rightarrow 0$, $S(0) \rightarrow q$, де $q = U_m t_i$ – площа імпульсу.

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

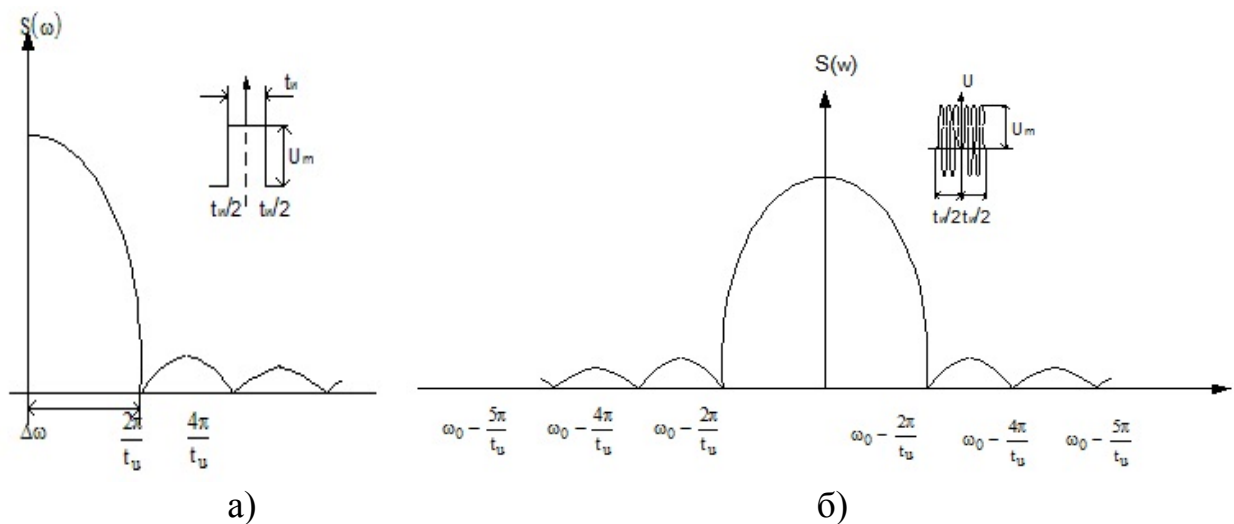


Рисунок 2.2.2.4 – Спектр періодичних прямокутних радіоімпульсів

Основний спектр одиночного імпульсу поміщено між $\omega = 0$ та $\omega = 2\pi/t_i$. Саме значення:

$$\Delta\omega = 2\pi/t_i \quad (2.2.2.13)$$

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

Відповідно до виразу (2.2.2.13) ширина спектру одиночного імпульсу збільшується за зменшення тривалості імпульсу, тобто чим довший імпульс, тим вузьчу смугу частот він займає в каналі зв'язку.

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

$$S(\omega) = \int_{-t_i/2}^{t_i/2} U_m \cdot \cos \omega t \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (2.2.2.14)$$

Після перетворень виразу (2.2.2.14) отримаємо:

$$S(\omega) = \frac{U_m}{\omega_H + \omega} \cdot \sin \left[\frac{\omega_H + \omega}{2} \right] \cdot t_i + \frac{U_m}{\omega_H - \omega} \sin \left[\frac{\omega_H - \omega}{2} \right] \cdot t_i \quad (2.2.2.15)$$

Спектральну функцію радіоімпульсу отримують із спектру відеоімпульса шляхом перенесення початку координат у точку ω_H і симетричного віддзеркалення відносно нової осі ординат спектру відеоімпульса (рис. 2.2.2.4 б).

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

2.2.3. Об'єм сигналу

З погляду передавання інформації по каналі зв'язку всі фізичні характеристики сигналу можуть бути об'єднані в одну узагальнену характеристику, що характеризує сигнал як об'єкт транспортування від передавального до приймального пристрою. Аналогічно тому, як за транспортування вантажів

найважливішою характеристикою є габарити і маса предмету, так і за транспортування сигналу можна відокремити найважливіші вимірювання, які визначають умови його передавання. Такими вимірюваннями є: T_C – тривалість передавання сигналу; ΔF_C – ширина спектру сигналу; h_C – перевищення потужності сигналу P_C над потужністю завади P_3 .

Значення h_C визначають як $\log \frac{P_C}{P_3}$.

Узагальнену фізичну характеристику сигналу – **об'єм** сигналу – представляють добутком його головних вимірів:

$$V_C = T_C \cdot \Delta F_C \cdot h_C. \quad (2.2.3.1)$$

Аналогічно поняттю «об'єм сигналу» вводять поняття «об'єм каналу» зв'язку:

$$V_K = T_K \cdot \Delta F_K \cdot h_K, \quad (2.2.3.2)$$

де T_K – час, протягом якого канал наданий для передачі сигналу; ΔF_K – смуга частот, виокремлена для передавання; h_K – смуга рівнів, залежна від потужності, що розвивається апаратурою каналу зв'язку.

Для передавання сигналу по каналу зв'язку необхідне виконання умови:

$$V_K \geq V_C. \quad (2.2.3.3)$$

Проте ця лише необхідна умова. Необхідними і достатніми є жорсткіші умови:

$$\begin{aligned} \Delta F_K &\geq \Delta F_C; \\ T_K &\geq T_C; \\ h_K &\geq h_C. \end{aligned} \quad (2.2.3.4)$$

Якщо необхідна умова (2.2.3.3) виконується, а одна або дві нерівності з умов (2.2.3.4) не виконуються, для передавання сигналу по каналу зв'язку необхідно перетворити виміри сигналу так, щоб вони «уміщалися» в об'ємі каналу. Наприклад, шляхом зміни швидкості передавання можливо «обмінати» тривалість передавання на смугу частот, смугу частот на смугу рівнів тощо.

Якщо задана часова послідовність імпульсів (рис. 2.2.3.1) відповідна передаваному сигналові, і відома тривалість всіх елементів сигналу, то для визначення об'єму сигналу слід визначити частотний спектр сигналу за найменшої тривалості його елементів t_{MIN} .

Для відеосигналу $\Delta F_C = k/t_{MIN}$ для радіосигналу $\Delta F_C = 2k/t_{MIN}$, де k – коефіцієнт, визначуваний допустимим значенням спотворення форми передаваних імпульсів на виході каналу зв'язку.

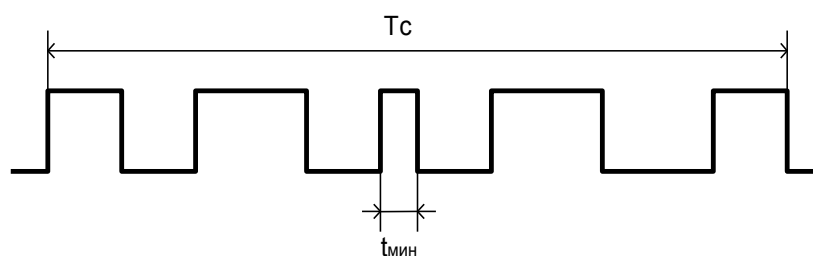


Рисунок 2.2.3.1 - Часова послідовність імпульсів

Для визначення об'єму сигналу повинна бути задана величина h_c . Це значення обчислюють за заданими значеннями P_c і P_3 або, якщо задані величини напруг сигналу і завади, за виразом:

$$h_c = \log \left[\frac{u_c}{u_3} \right]^2. \quad (2.2.3.5)$$

2.3. Похибки телевимірювань

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

Похибки каналу зв'язку поділяють на:

– *абсолютну*

$$\Delta X = X_{II} - X, \quad (2.3.1)$$

де X_{II} – показ приймального приладу ТВ; X – дійсне значення вимірювальної величини, яке визначають за зразковим приладом;

– *відносну*

$$\delta = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% ;$$

– *відносну зведену*

$$\delta_{\square} = \frac{\Delta X}{X_{ШК}} \cdot 100\% ,$$

де $X_{ШК}$ – діапазон шкали вимірювань.

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

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

Додаткова похибка, згідно ДЕСТ, не повинна перевищувати основну. Тому у технічних умовах вказують допустимі межі зміни зовнішніх умов (наприклад, $\Delta U = \begin{matrix} +10 \\ -15 \end{matrix} \%$, $\Delta f = 48 - 51 \Gamma\text{ц}$).

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

- 1) похибка трансформаторів струму та напруги – δ_{TP} ;
- 2) похибка давача – δ_D ;
- 3) похибка передавального пристрою ТВ (давач-канал зв'язку) – $\delta_{ПД}$;
- 4) похибка каналу зв'язку, що містить похибку від завад – $\delta_{КЗ}$;

5) похибка приймального пристрою (канал зв'язку-пристрій оброблення) – $\delta_{ПР}$;

6) похибка оброблення (наприклад, осереднення) – $\delta_{ОБ}$;

7) похибка вимірювального приладу – $\delta_{ВП}$.

Якщо прийняти похибки незалежними і випадковими, то сумарна середньоквадратична похибка телевимірювання становитиме:

$$\delta_{ТВ} = \sqrt{\delta_{ТР}^2 + \delta_{Д}^2 + \delta_{ПД}^2 + \delta_{КЗ}^2 + \delta_{ПР}^2 + \delta_{ОБ}^2 + \delta_{ВП}^2}.$$

Телевимірювальну систему характеризує похибка телепередачі – $\delta_{ТП}$:

$$\delta_{ТП} = \sqrt{\delta_{ПД}^2 + \delta_{КЗ}^2 + \delta_{ПР}^2}.$$

Завод-виробник телемеханічної апаратури оцінює клас точності за похибкою $\delta_{ТП}$, натомість для користувача важливішою є похибка $\delta_{ТВ}$.

2.4. Обслуговування випадкових контрольованих процесів у телеінформаційних системах

2.4.1. Обслуговування випадкових контрольованих процесів $y(t)$

Обслуговування випадкових контрольованих процесів $y(t)$ полягає у:

1) квантуванні за рівнем з кроком h та дискретизації за часом з періодом T_0 ;

2) перетворенні апроксимуючої функції $V(t)$ у кодовані сигнали і передаванні їх до каналу зв'язку (наприклад, АЦП кодоімпульсних сигналів телевимірювання).

Нехай маємо 4 рівня квантування функції $y(t)$ (рис. 2.4.1). На осі t зображено: T_0 – цикл обслуговування; Δt_j – затримка обслуговування, внаслідок періодичності опитувань T_0 ; t_0 – тривалість обслуговування (з передавання значень $y(t)$, телевимірювань); j – номер заявки.

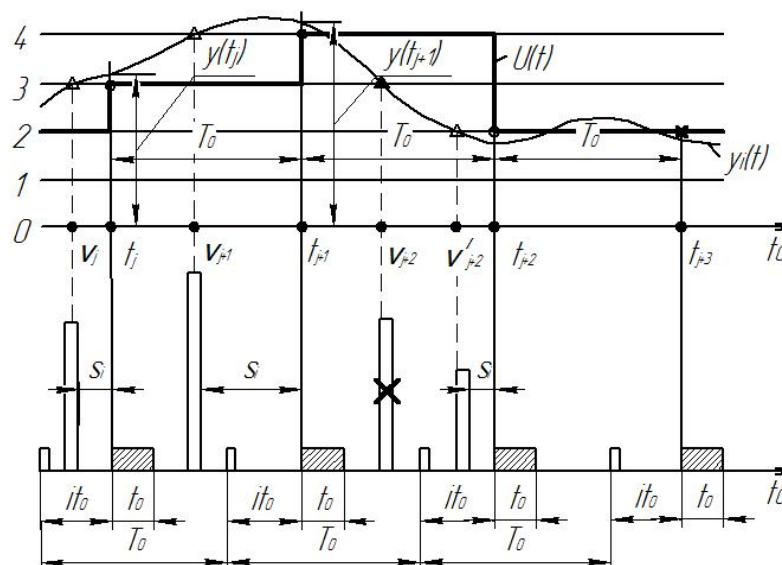


Рисунок 2.4.1 – Апроксимація та обслуговування випадкових процесів:

Δ – моменти виникнення заявок v_j, v_{j+1}, \dots ; O – моменти початку обслуговування t_j, t_{j+1}, \dots ; \blacktriangle – втрачені заявки; x – надлишкове обслуговування; t_0 – тривалість обслуговування; s – затримка обслуговування; T_0 – цикл обслуговування; i – номер каналу (параметра); j – номер заявки.

У моменти τ_j перетину кривою $y(t)$ третього рівня квантування утворюються заявки на обслуговування. Момент t_j початку обслуговування визначають часовою дискретизацією T_0 на відповідному рівні квантування. τ_j і t_j можуть різнитися внаслідок затримки обслуговування. Можливі втрати заявок (x, x) – бо за T_0 обслуговується лише одна остання заявка.

2.4.2. Якість обслуговування контрольованих процесів в телеінформаційних системах

Якість обслуговування (випадкових) контрольованих процесів в телеінформаційних системах характеризують показниками точності: середнім часом затримки $\Delta t_{СЕР}$, ймовірністю втрати заявок, середньоквадратичною похибкою ε (СКП).

Так, в момент t_j обирають значення параметру V_j рівне трьом квантам, замість реального $y(t_j) > 3$; $t_{j+1} \rightarrow 4$ (рис. 2.4.1).

Квадрат СКП визначає близькість випадкових функцій у момент t_j :

$$\varepsilon_{t_j}^2 = M \left\{ \left[y(t_j) - V(t_j) \right]^2 \right\}$$

На ділянці T близькість процесів характеризують інтегральним показником точності – квадратом інтегральної середньоквадратичної похибки апроксимації:

$$\varepsilon_T^2 = \frac{1}{T} \cdot \int M \left\{ \left[y(t) - V(t) \right]^2 dt \right\}.$$

2.5. Похибка телепередавання в кодоімпульсних системах телевимірювань

Переваги кодоімпульсного методу телевимірювання:

1. висока заводо захищеність телепередачі;
2. зручність цифрового відтворення і сполуки з ЕОМ;
3. відсутня додаткова похибка під час ретрансляції телевимірювань за методом "код-код".

В передавачі кодо-імпульсної системи аналогова виміряна величина $y(t)$ (з давача) перетворюються у кодовані сигнали. У такому випадку сигнал $y(t)$ квантують за рівнем з кроком h і дискретизують за часом з періодом T_0 . В результаті $y(t)$ апроксимують дискретним сигналом $U(t)$ (рис. 2.5.1).

Похибка апроксимації кривої $y(t)$ ступінчастою функцією $U(t)$ має дві складові:

- 1) *статичну* похибку – похибка квантування за рівнем;
- 2) *динамічну* – похибка дискретизації за часом.

Визначимо СКП апроксимації аналого-цифрового перетворення в циклічних кодо-імпульсних системах.

1. **Похибка квантування за рівнем** є випадковою величиною ε_K , яка дорівнює різниці між фактичним значенням $y(t)$ і найближчим рівнем квантування. Вважаємо, що АЦП забезпечує квантування з точністю $h/2$, отже максимальна статична похибка квантування:

$$\varepsilon_{K \max} = \pm \frac{h}{2}.$$

Середньоквадратична похибка:

$$\varepsilon_{K.СК} = \sqrt{M(\varepsilon_K^2)},$$

де $M(\varepsilon_K^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \omega(\varepsilon_K) \varepsilon_K^2 d\varepsilon_K$ – математичне очікування квадратів випадкових різниць ε_K ; $\omega(\varepsilon_K)$ – густина ймовірностей випадкової ε_K .

Прийmemo розподіл ε_K в межах квантування рівномірним: $\omega(\varepsilon_K) = 1/h$ (рис. 2.5.1).

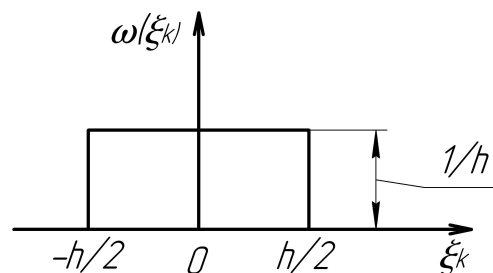


Рисунок 2.5.1 – Розподіл похибки в межах квантування

Тоді:

$$\varepsilon_{K.СК} = \sqrt{\int_{-h/2}^{+h/2} \frac{1}{h} \varepsilon_K^2 d\varepsilon_K} = \sqrt{\frac{1}{h} \left[\frac{\varepsilon_K^3}{3} \right]_{-h/2}^{h/2}} = \sqrt{\frac{1}{3h} \left[\frac{h^3}{8} + \frac{h^3}{8} \right]} = \sqrt{\frac{h^2}{12}}.$$

Отже, абсолютна величина СКП квантування:

$$\varepsilon_{K.СК} = \pm \frac{h}{2\sqrt{3}}.$$

Висновки:

- 1) $\varepsilon_{K.СК} < \varepsilon_{\max}$ у $\sqrt{3}$ разів;
- 2) Чим менший крок h , тим менша похибка $\varepsilon_{K.СК}$.

Якщо діапазон вимірювання D містить N квантів ($D = hN$), то зведена похибка квантування за рівнем:

$$\delta_{K.СК} = \frac{\varepsilon_{K.СК}}{D} = \pm \frac{100\%}{2\sqrt{3}N}$$

Якщо N квантів передаються n -розрядним двійковим кодом, то статична похибка:

$$\delta_{K.СК} = \pm \frac{100\%}{2\sqrt{3}(2^n - 1)}$$

2. СКП дискретизації за часом характеризується інтегральною близькістю випадкових функцій $y(t)$ і $U(t)$ на ділянці дискретизації T_0 .

$$\varepsilon_D = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} M[y(t) - U(t)]^2 dt}.$$

На рис. 2.5.2 ε_D рівне середній площі, обмеженій функціями $y(t)$ і $U(t)$ на ділянці дискретизації.

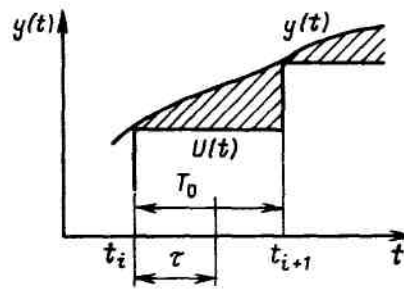


Рисунок 2.5.2 – Інтегральна близькість випадкових функцій $y(t)$ і $U(t)$

Приймаючи $y(t)$ стаціонарним корельованим процесом з нульовим середнім, отримуємо **абсолютну** СКП:

$$\varepsilon_D = \sigma \sqrt{\frac{T_0}{\tau_K}}$$

де $\sigma^2 = M[y^2(t)]$ – дисперсія $y(t)$, τ_K – стала часу кореляції (вважають $\tau_K \gg T_0$, $T_0/t \ll 1$).

Зведена похибка:

$$\delta_D = \frac{\varepsilon_D}{D} 100\% = \frac{\sigma}{D} \sqrt{\frac{T_0}{\tau_K}} 100\%$$

Отже, чим менший період T_0 , тим менша похибка δ_D .

3. **Сумарна** зведена СКП апроксимації у передавальному пристрої кодоімпульсної системи телевізювання:

$$\delta = \sqrt{\delta_K^2 + \delta_D^2} = \frac{100}{2\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{h}{D}\right)^2 + 12 \cdot \left(\frac{\sigma}{D}\right)^2 \frac{T_0}{\tau_K}} = \frac{100}{2\sqrt{3}D} \sqrt{h^2 + 12 \cdot \sigma^2 \frac{T_0}{\tau_K}} = \delta$$

Для швидкозмінних параметрів δ_D складова може бути в 3-4 рази більша за δ_K . У разі зростання швидкості передавання, збільшення смуги пропускання каналу (тобто зменшенні циклу T_0), δ_D зменшується, але залишається сумірною з δ_K .

3. ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ СИГНАЛІВ

Під час передавання сигналів по каналах телемеханіки виникають спотворення сигналу, обумовлені наявністю в каналі перехідних процесів та дією завад. В результаті наявності спотворень (рис.3.1 б) і дії завад (рис.3.1в), форма сигналу на виході каналу (рис.3.1,г) відрізняється від його форми на вході (рис.3.1а). Пороговий пристрій на виході каналу відновлює прямокутну форму елементів сигналу (рис.3.1д), проте значимі моменти (ЗМ) створює в ті моменти часу t_i^1 , в які напруга сигналу на виході каналу обертається в нуль (у випадку двополярного сигналу). В результаті ЗМ на прийманні t_i^1 не співпадає з відповідними ЗМ на передаванні t_i . При цьому завжди має місце нерівність $t_i^1 > t_i$, оскільки внаслідок кінцевого часу поширення ЗМ на прийомі запізнюється у порівнянні з відповідними ЗМ на передаванні. Якщо б усі ЗМ на прийомі запізнювалися на однаковий час, то був би простий зсув сигналу в часі без спотворення його форми.

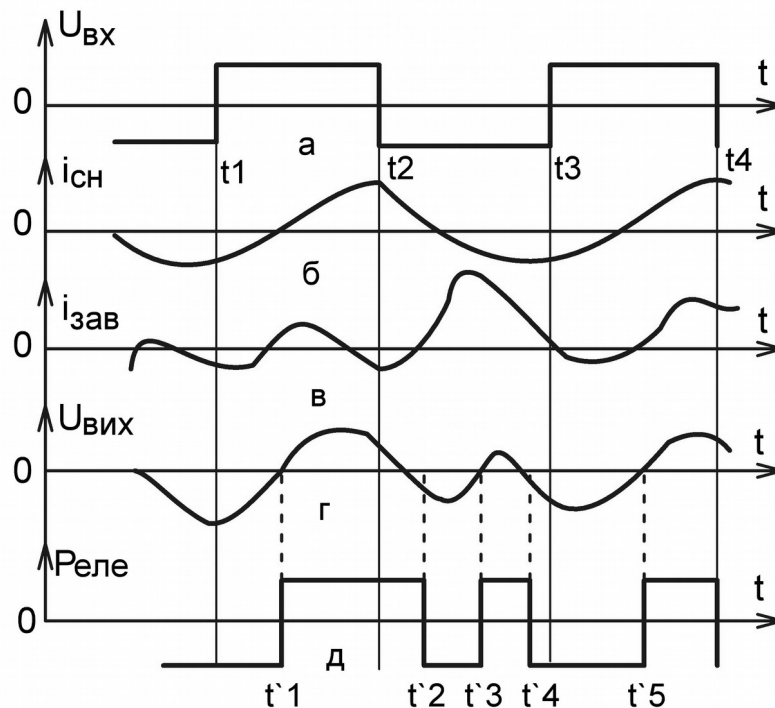


Рисунок 3.1 – Спотворення сигналу внаслідок перехідних процесів та дії завад: а) форма сигналу на вході; б) спотворюючий струм; в) завада; г) форма сигналу на виході каналу; д) форма сигналу на виході каналу

Наявність в каналах ТМ спотворення та завад призводить до невідповідності ЗМ та зміни тривалості значущого інтервалу, а також до зміни знаку всередині одиничного інтервалу. У відповідності з цим, спотворення значущих інтервалів розділяють на крайові спотворення та дроблення. Крайовим спотворенням називають невідповідність значущих моментів та значущих інтервалів ідеальним значущим моментам та інтервалам, що призводить до відхилення тривалості прийнятих значущих інтервалів відносно переданих. Дробленням називають одно- або багаторазову зміну значущої позиції всередині значущого інтервалу. Крайові спотворення та дроблення є вторинними характеристиками

каналу ТМ, на відміну від завад, спотворень АЧХ і ФЧХ, які відносять до первинних характеристик.

Крайові спотворення та дроблення обумовлюють невідповідність прийнятого повідомлення переданому, тобто призводять до зниження достовірності передавання інформації. Кількісно **достовірність** передавання характеризують ймовірністю помилки $P_{\text{ПОМ}}$, яку визначають як межу відношення середнього числа невірно прийнятих дискретних посилок (імпульсів) $n_{\text{ПОМ}}$ до загального переданого числа сигналів N_n , за час T , коли $T \rightarrow \infty$:

$$P_{\text{ПОМ}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{n_{\text{ПОМ}}(T)}{N_n(T)}.$$

Ймовірність помилки $P_{\text{ПОМ}}$ значною мірою визначають властивості використовуваного каналу тональної частоти; з врахуванням цього $P_{\text{ПОМ}}$ нормують наступним чином (за швидкості 1200 бод): для некомутуємих каналів – $5 \cdot 10^{-5}$, для комутованих – 10^{-3} . Виходячи з цих норм, а також особливостей диспетчерського керування, оперативна телеінформація за показником достовірності повинна відповідати: для телевимірювань – 10^{-6} , а для телесигналізації – 10^{-7} .

3.1. Завадостійкість дискретних сигналів

Завадостійкість – це здатність сигналу зберігати закладену інформацію, незважаючи на дію завад. Завадостійкість характеризують ймовірністю вірного прийому елементарного дискретного сигналу ("0" чи "1") при певному рівні завад.

Позначимо ймовірність фальшивого прийому нуля замість одиниці p ($1 \rightarrow 0$) та p ($0 \rightarrow 1$). Для симетричного двійкового каналу ці ймовірності однакові.

Відповідно ймовірність вірного прийому $q = 1 - p$.

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

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

Дієвість імпульсних завад на сигнал визначають відношенням тривалостей завади τ_z та сигналу τ_c . Для $\tau_z/\tau_c \ll 1$ заваду усувають за допомогою інерційної ланки (дроселя) на вході приймача.

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

$$\tau = k/\Delta F.$$

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

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

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

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

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

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

Флуктуаційні завади характеризують величини:

- питома напруга завади, це ефективна напруга завади на одиницю частотної смуги приймального фільтра

$$n_0 = \frac{U_{3.СК}}{\sqrt{\Delta F}};$$

- питома потужність завади – n_0^2 ;

- відношення амплітуд сигнал/завада

$$a = \frac{U_m}{\sqrt{2}U_{3.СК}};$$

- енергетичний параметр завади – відношення енергії сигналу до питомої потужності завади

$$a_0^2 = \frac{1}{n_0^2} \int_0^\tau U_c^2(t) dt;$$

– тривалість τ сигналу ("0" чи "1").

Завадостійкість сигналу підвищують способом приймання та принципом будови приймача.

3.2. Завадостійкість порогового приймача

Пороговий приймач реагує на миттєве значення рівня сигналу. Нехай поріг сигналу становить U_0 . Якщо сигнал більший за U_0 , то приймач фіксує "1", якщо менший, то – "0" (рис. 3.2.1 а).

За певних умов завада може перевищити встановлений рівень амплітудного сигналу ($u_3(t) > U_0$ на рис. 3.2.1 б), або понизити амплітуду сигналу до рівня $U_M - u_3 < U_0$ (рис. 3.2.1 б).

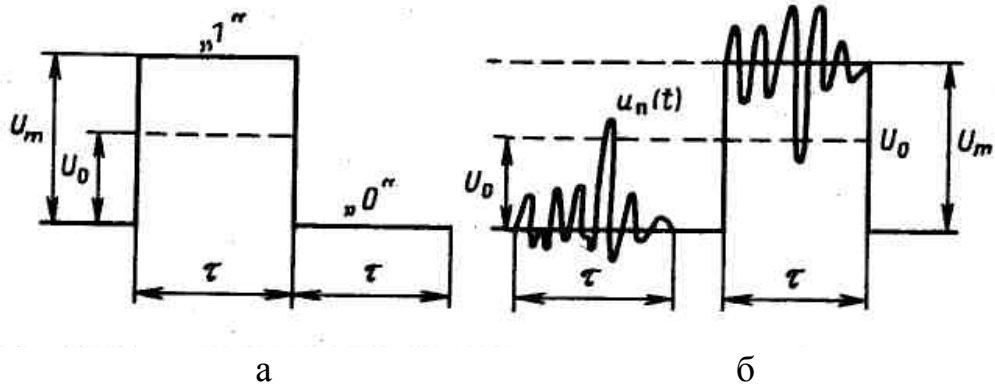


Рисунок 3.2.1 – Сигнал та завади в пороговому приймачі

Визначимо ймовірність того, що при "0" завада досягне порогу U_0 (рис. 3.2.1 б) і приймач ідентифікує її як сигнал:

$$p(u_3 \geq u_0) = p(0 \rightarrow 1) = \int_{U_0}^{\infty} \omega(u_3) du_3 = \frac{1}{\sqrt{2\pi} U_{3.СК} U_0} \int_{U_0}^{\infty} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{u_3}{U_{3.СК}}\right)^2} du_3. \quad (3.2.1)$$

Ймовірність $p(0 \rightarrow 1)$ відповідає штрихованій зоні на графіку розподілу щільності ймовірності завади (рис. 3.2.1), побудованому згідно (3.2.1).

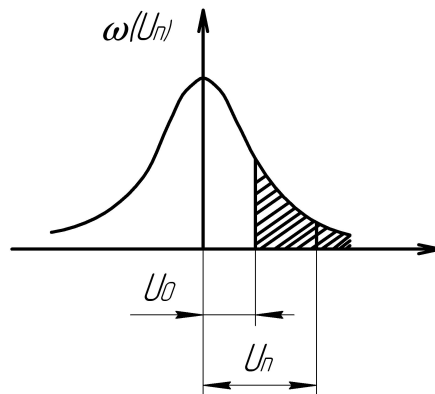


Рисунок 3.2.2 – Графік розподілу щільності ймовірності $p(0 \rightarrow 1)$ завади

Отже $p(0 \rightarrow 1)$ є функцією U_0 за певного рівня завад $U_{3.СК}$.

Аналогічно ймовірність заглушення завадою сигналу (зниження сигналу U_M до рівня, меншого за U_0), тобто того, що $|u_3| > U_M - U_0$

$$p(1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} U_0} \int_{-U_M - U_0}^{U_M - U_0} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{u_3}{U_{3.СК}}\right)^2} du_3. \quad (3.2.2)$$

Крива розподілу густини ймовірності заглушення завадою сигналу, побудована за виразом (3.2.2), зображена на рис. 3.2.3.

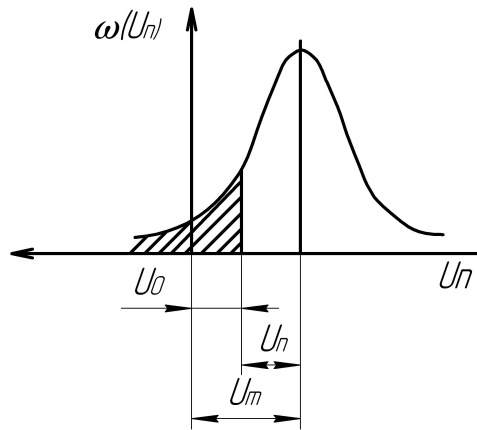


Рисунок 3.2.3 – Графік розподілу щільності ймовірності p ($1 \rightarrow 0$) завади

Для симетричного сигналу ($U_0 = U_M/2$) ймовірності переходів $0 \rightarrow 1$ і $1 \rightarrow 0$ є однаковими.

Залежність p від відношення сигнал/завада для симетричного каналу зображено на рис.3.2.4.

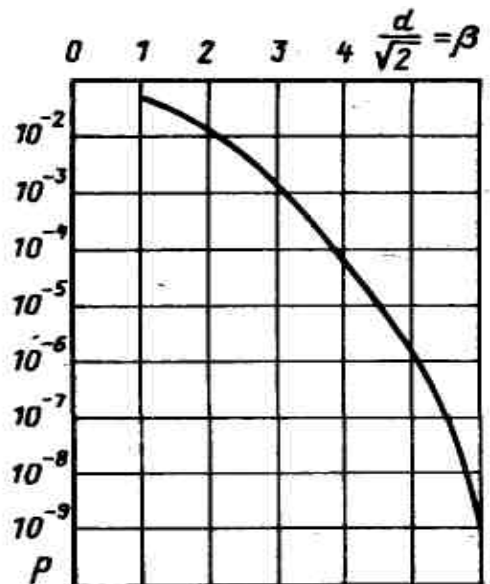


Рисунок 3.2.4 – Залежність p від відношення сигнал/завада

Таким чином, для мінімізації спотворень сигналу, треба оцінити рівень можливих завад $U_{з.ск}$ і обрати відповідну U_M .

3.3. Завадостійкість приймача Котельникова

За умов дії флуктуаційних завад найбільшу завадостійкість має приймач Котельникова, який реалізує порівняння отриманих сигналів із зразками і обчислює енергію різниці.

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

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

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

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

Заводостійкість при прийманні дискретних сигналів ("0" чи "1") $p(0 \rightarrow 1)$ і $p(1 \rightarrow 0)$ визначають аналогічно вище наведеному.

Енергетичний параметр завади ($a_0^2 = \frac{\text{енергія сигналу}}{\text{потужність завади}}$),

$$a_0 = \sqrt{a_0^2} = \frac{1}{n_0} \sqrt{\int_0^\tau [A_1(t) - A_2(t)]^2 dt}, \quad (3.3.1)$$

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

Вважаючи, що канал зв'язку симетричний, тобто $p(0 \rightarrow 1) = p(1 \rightarrow 0)$ і, отже, поріг $U_0/U_M = a_0/\sqrt{2}$, розглянемо **заводостійкість** приймача для двох дискретних сигналів при різних імпульсних ознаках:

а) **амплітудна ознака "так-ні"**:

для відеосигналу: $A_1(t) = U_M, \tau; A_2(t) = 0$; де τ – тривалість сигналу.

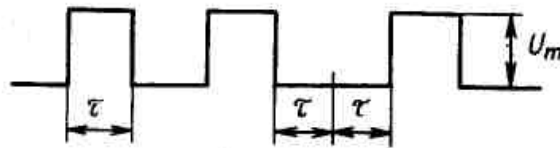


Рисунок 3.3.1 – Форма відеосигналу

Отже, з (3.3.1) отримаємо для відеосигналу:

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

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

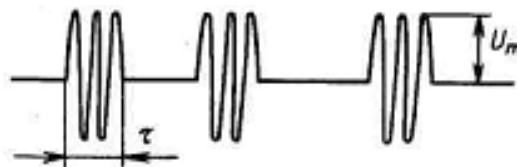


Рисунок 3.3.2 – Форма радіосигналу

Отже, з (3.3.1) отримаємо для радіосигналу:

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

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

б) частотна ознака:

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

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

Тоді з (3.3.1) $a_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{n_0}$

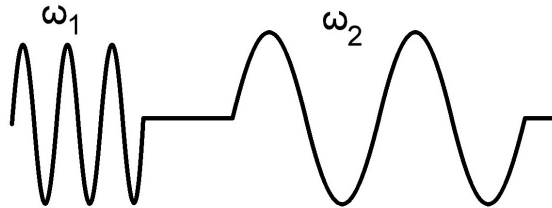


Рисунок 3.3.3 – Два сигнали з різними частотами ω_1 та ω_2

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

в) полярна ознака

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

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

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

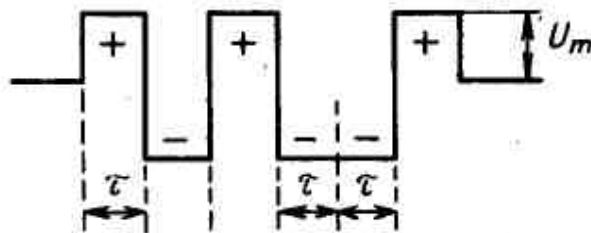


Рисунок 3.3.4 – Відеосигнал з полярною ознакою

Полярна імпульсна ознака є найзавадостійкішою.

г) широтно-імпульсна ознака

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

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

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

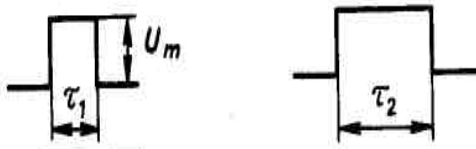


Рисунок 3.3.5 – Відеосигнал з широтно-імпульсною ознакою

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

3.4. Приймач, що контролює фазу сигналу

Завада призводить до зсуву фронту сигналу за фазою $\Delta\varphi_3$.

Фронтом сигналу називають межу переходу "0" в "1" та навпаки.

Якщо сигнал фіксують стробом всередині біту, то дозволена флуктуація фази фронту складає $\pm\tau/2$, де τ – тривалість біту сигналу між фронтами.

Приймач фіксує помилку, якщо фронт проходить поза цією зоною.

Вважаючи зсув $\Delta\varphi_3$ випадковим з нульовим середнім розподілом за нормальним законом з дисперсією $\varphi_{3,CK}$ отримаємо щільність ймовірності $\Delta\varphi_3$:

$$\omega_{\Delta\varphi_3}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Delta\varphi_{3,CK}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz. \quad (3.4.1)$$

де $z = \frac{\Delta\varphi_3}{\Delta\varphi_{3,CK}}$; $\Delta\varphi_3$ – миттєва дія завади.

Ймовірність хибного прийому біта, побудована за (3.4.1), дорівнює ймовірності потрапляння фронту у штриховану зону (рис. 3.4.1).

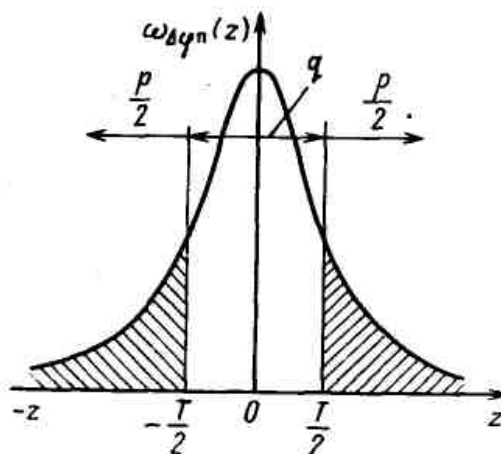


Рисунок 3.4.1 – Щільність ймовірності хибного прийому біта

$$p = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\tau}{2}}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\tau}{2}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz.$$

Тобто, ймовірність помилки p такого приймача є функцією тривалості біту $\tau/2$ при заданому рівні завад $\Delta\varphi_{з.ск}$.

3.5. Контроль якості сигналу

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

Якщо p' та q' – ймовірності хибного і вірного прийомів сигналів у разі контролю якості, то ймовірність бракування у випадку контролю:

$$r = 1 - p' - q'.$$

Контроль якості полягає у введенні обмежень на дозволена зону зміни сигналу (наприклад: амплітуди, фази, тривалості).

Тобто, сигнал розбивають на три зони:

- 1) зона допустимого спотворення завадою;
- 2) зона браковки сигналу;
- 3) зона хибного прийому.

Розглянемо контроль якості на прикладі приймача з фазовим контролем.

- 1) Без контролю якості дозволена зміна фази фронту – $\pm\tau/2$;

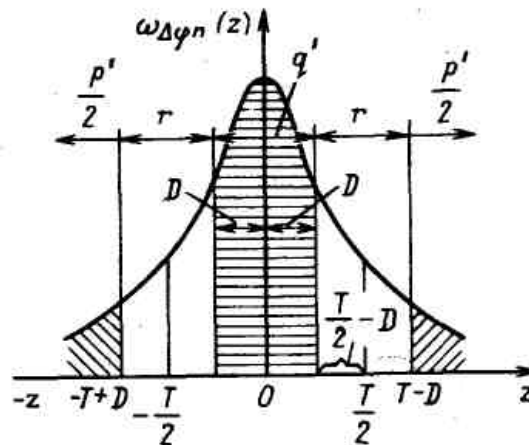


Рисунок 3.5.1 – Контроль якості сигналу приймачем з фазовою ознакою

- 2) За контролю якості зона дозволена зміни зменшується: $|D| < \tau/2$ (рис. 3.5.1). Вводять **зони бракування** сигналу r :

$$-\tau + D \leq r \leq -D \text{ – ліва;}$$

$$D \leq r \leq \tau - D \text{ – права.}$$

- 1) У разі потрапляння сигналу до зони $2D$ він вважається прийнятим вірно з ймовірністю q' ;

- 2) у разі потрапляння до зони r сигнал вважають сумнівним і відбраковують (або – на повтор);

- 3) ймовірність потрапляння фази до зони помилок:

$$p_{\square} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\tau-D}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz,$$

ймовірність вірного прийому:

$$q_{\square} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^D e^{-\frac{1}{2}z^2} dz.$$

Отже, зона дозволеного прийому значень $\tau/2 \geq |D| \geq 0$. Чим вужча D , тим менша ймовірність хибного прийому.

Крайні точки:

- за зростання $|D| = \tau/2$ – контроль якості відсутній, адже дозволеною зоною прийому є весь біт $\pm\tau/2$;

- за спадання $D \rightarrow 0$ – зона звужується вкрай і ймовірність $q' \rightarrow 0$, тобто прийом інформації стає неможливим.

Вплив контролю якості на звадостійкість наведено в табл. 3.5.1.

Таблиця 3.5.1 - Вплив контролю якості на звадостійкість

$ D $	p'	q'	r
$T/2$	10^{-4}	0,9999	~ 0
$T/4$	10^{-8}	0,9498	0,0509
$T/8$	10^{-11}	0,6637	0,3363
0	10^{-14}	~ 0	0,9999

4. ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ У ТЕЛЕМЕХАНІЦІ

4.1. Інформація та керування

Диспетчер, отримуючи інформацію щодо стану контрольованого процесу, приймає рішення щодо керування ним (наприклад, отримавши інформацію щодо аварійного відключення генератора на електростанції треба негайно ввести резервний генератор в паралельну роботу, відімкнути споживачів 3 категорії тощо).

Ступінь впевненості g у прийнятті вірного рішення визначають відношенням ймовірності прийняття вірного рішення за наявності інформації до ймовірності прийняття правильного рішення на основі апріорної інформації (апріорну інформацію набувають на основі попереднього досвіду, статистики тощо):

$$g = \frac{P_I(Y)}{P(Y)} = \frac{P_Y(I)}{P(I)}$$

де Y – подія, прийняття рішення щодо керування; I – наявність інформації; $P_I(Y)$ – ймовірність прийняття вірного рішення за наявності інформації щодо керуючого процесу; $P(Y)$ – те ж саме, але на основі апріорної інформації; $P_Y(I)$ – ймовірність наявності додаткової інформації за прийняття рішення Y ; $P(I)$ – ймовірність апріорної інформації.

Вважаючи, що умовна ймовірність події Y не залежить від події I , отримаємо ймовірність прийняття вірного рішення з керуванням:

$$P_I(Y) = P(Y) \frac{P_Y(I)}{P(I)}.$$

Степінь впевненості може бути: $g > 1$ – за наявності корисної інформації;
 $g < 1$ – за наявності дезінформації.

Кібернетична кількість інформації:

$$I_K = \log(g) = \log \frac{P_I(Y)}{P(Y)}.$$

Приклад 1: На розгалуженні двох шляхів треба прийняти рішення щодо вибору шляху до п. В:

1. Якщо вказівник відсутній, то ймовірність вибору становитиме $P(Y) = 0,5$;

2. За наявності вказівника (додаткової інформації I) $P_I(Y) = 1$.

Отже, $g = \frac{P_I(Y)}{P(Y)} = 2$, тобто міра впевненості зростає у стільки разів, у скільки реальна інформація більша за апріорну.

$$I_K = \log \frac{1}{0,5} = 1 \text{ біт.}$$

Аналогічний приклад 2: Визначення положення двопозиційного вимикача (увімкнено/відімкнено):

а) без телесигналізації $P(Y) = 0,5$;

б) за отримання телесигналу щодо реального стану об'єкту $P_I(Y) = 1$.

Приклад 3. Диспетчер РЕМ має прийняти рішення щодо визначення місця пошкодження мережі 10 кВ у лініях, які відходять від ПС (m елементів мережі):

1. Диспетчер отримав *загальний* сигнал від ПС – "Аварія в мережі 10кВ";
2. m елементів розбиті на n груп від кожної з яких маємо телесигнал "Аварія лінії 10кВ"

$P(Y)$ – ймовірність правильного рішення на основі апріорної інформації;

$P_n(Y)$ – ймовірність правильного рішення за наявності одного з групових сигналів;

$P(n)$ – апріорна ймовірність отримання інформації з даної лінії;

$P_Y(n)$ – достовірність групового телесигналу (ймовірність отримання телесигналу у разі аварії в зоні n).

Якщо всі m елементів мають рівну ймовірність ушкодження, то:

- за відсутності телесигналу треба перевірити всі m елементів, ймовірність успіху на основі апріорної інформації (пошкоджено 1 з m елементів) $P(Y) = 1/m$;

- за отримання телесигналу від однієї з n груп, диспетчер має дослідити всі k об'єктів цієї групи ($k < m$).

Оскільки загальний сигнал групи n об'єднує k елементів, кожен з яких з ймовірністю $1/m$ може бути пошкоджений, то ймовірність телесигналу даної групи n : $P(n)=k/m$

$$\text{Отже, } P_I(Y) = P_n(Y) = \frac{P_Y(n)P(Y)}{P(n)} = \frac{P_Y(n)\frac{1}{m}}{\frac{k}{m}} = \frac{P_Y(n)}{k},$$

$$g = \frac{P_n(Y)}{P(Y)} = \frac{m}{k} P_Y(n)$$

Для $m = 32, n = 4; k = 8$ – інформація від груп ТС абсолютно достовірна, тобто $P_Y(N) = 1$.

Тоді зі зростанням g у 4 рази $I_k = \log 4 = 2$ біти.

4.2. Зв'язок кількості інформації з невизначеністю події

Специфіка телемеханічної інформації полягає у різко нерівномірному характері.

З точки зору теорії інформації будь-яка телемеханічна система є системою передавання повідомлень. **Повідомлення** – це все те, що підлягає передаванню від відправника 1 до одержувача 2 (рис. 4.2.1).

Повідомлення A від відправника (давача, джерела) потрапляє в передавач, що перетворює повідомлення у сигнал. **Сигнал** – це фізичний процес (наприклад, послідовність електричних імпульсів), однозначно відповідний даному повідомленню. Тобто, повідомлення – це об'єкт передачі, а сигнал – засіб передачі даного повідомлення. Вибір виду сигналу визначають за типом каналу зв'язку. Так, у випадку електричного зв'язку повідомлення передають за допомогою електричних сигналів, у разі радіозв'язку – за допомогою радіосигналів, для світлового зв'язку – світловими сигналами тощо.

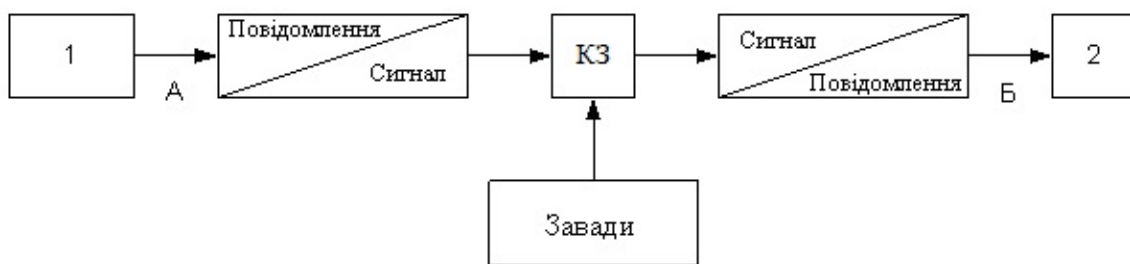


Рисунок 4.2.1 – Узагальнена схема передавання повідомлень

Канал зв'язку (КЗ) – сукупність технічних засобів (апаратура каналу, лінія зв'язку тощо), необхідних для передавання сигналів.

Завади – будь-які дії, що заважають в процесі передавання повідомлення. Завади можуть виникати як у каналі зв'язку, так і в самих передавачах і приймачах. Проте, основні завади мають місце в каналі зв'язку, тому на рис. 4.2.1 дію завад віднесено до КЗ.

У результаті дії завад, на виході приймача замість повідомлення *A* виникає деяке повідомлення *B*, яке і отримує одержувач. Основне завдання, що вирішує будь-яка система передавання повідомлення, полягає в тому, щоб повідомлення *B* якомога менше відрізнялося від початкового повідомлення *A*.

Визначимо кількість повідомлень, які можуть бути сформовані з *n* елементів, що можуть набувати *m* різних значень (якостей). Очевидно, що кількість повідомлень визначають кількістю комбінацій з *n* елементів для *m* значень цих елементів.

В результаті отримання інформації щодо події, невизначеність цієї події зменшується. Якщо до отримання інформації **невизначеність** становила $h_{\text{поч}}$, а після її отримання залишилася невизначеність $h_{\text{кин}}$, то кількість одержаної інформації *I* може бути охарактеризована зменшенням невизначеності:

$$I = h_{\text{поч}} - h_{\text{кин}}.$$

Якщо після отримання інформації невизначеність повністю зникає, то $h_{\text{кин}} = 0$ і $I = h_{\text{поч}}$. Враховуючи, що $h_{\text{поч}}$ для події, що має *m* можливих результатів, рівна $\log m$, отримаємо можливість визначення кількості інформації:

$$I = \log m.$$

За одиницю кількості інформації приймають інформацію, яка міститься в події, що має два рівноймовірні результати. Одиницю кількості інформації називають «**біт**».

4.3. Кількість інформації в подіях з різноймовірними результатами. Ентропія

Для оцінки ймовірності результатів досліду у разі невизначеності використовують спеціальну функцію – ентропію. Так, кожному з *m* результатів досліду треба присвоїти свою невизначеність, що обчислюють як $-\log p_i$, де p_i – ймовірність даного результату. Наприклад, у разі *m* рівноймовірних результатів,

що мають ймовірність $p=1/m$, за міру невизначеності треба прийняти $\log m = -\log p$.

Згідно цьому визначенню, чим p_i менша, тим більша невизначеність результату. За міру невизначеності всього дослідження приймають середнє значення невизначеності окремих результатів (середнє значення випадкової величини є добутком випадкової величини $(-\log p)$ та ймовірності p_i появи цього значення):

$$- p_1 \cdot \log p_1 - p_2 \cdot \log p_2 - \dots - p_m \cdot \log p_m . \quad (4.3.1)$$

Ряд виду (4.3.1) названо ентропією H .

Ентропія H – це міра невизначеності, рівна середньому значенню невизначеностей результатів дослідження, що мають m результатів з ймовірністю p_i :

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log p_i \quad (4.3.2)$$

Невизначеність дослідження досягає максимального значення за рівної ймовірності всіх результатів:

$$p_1 = p_2 = \dots = p_m = p. \quad (4.3.3)$$

Для цього випадку попередня формула (4.3.2) виглядає наступним чином:

$$H(p) = H\left[\frac{1}{m}\right] = - \frac{1}{m} \log\left[\frac{1}{m}\right] - \frac{1}{m} \log\left[\frac{1}{m}\right] - \dots - \frac{1}{m} \log\left[\frac{1}{m}\right] = \log m . \quad (4.3.4)$$

Невизначеність кількох незалежних досліджень обчислюють як суму ентропій кожного дослідження. Тому для n однотипних незалежних досліджень ентропію визначають за наступною формулою:

$$H = - n \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log p_i \quad (4.3.5)$$

Отримання інформації – є процесом розкриття невизначеності, тому кількість інформації I може бути визначена таким чином:

$$I = H_{\text{Поч}} - H_{\text{Кін}} , \quad (4.3.6)$$

де $H_{\text{Поч}}$, $H_{\text{Кін}}$ – ентропія відповідно до та після отримання повідомлення.

Таким чином, кількість інформації рівна ентропії, усуненій завдяки одержаному повідомленню.

У разі, коли одержане повідомлення дає вичерпні відомості, невизначеність повністю знімається, тобто $H_{\text{Кін}}=0$, у такому разі кількість інформації рівна ентропії події:

$$I = H_{\text{Поч}}. \quad (4.3.7)$$

Кількість повної інформації у разі $H_{\text{Кін}}=0$:

$$I = - \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log p_i \quad (4.3.8)$$

Зокрема, для n -елементного повідомлення, в якому кожен елемент може приймати m рівноймовірних значень, згідно з формулою (4.3.8) маємо:

$$I = - n \log 1/m = n \log m .$$

Оперативна інформація – це інформація, що відображає стан контрольованого процесу у даний момент, після отримання якої диспетчер повинен ухвалювати певні рішення по управлінню процесом.

Розрахунково-планову інформацію використовують для планування режимів роботи енергосистем. Ця інформація призначена для служб режимів енергосистем, які здійснюють довгострокове (у межах тижня, місяця, року) і короткострокове (в межах доби) планування режимів енергосистем. Ці види розрахунків не вимагають надходження інформації в темпі процесу. Достатньо, наприклад, проводити збір певних даних погодинно або кілька разів на добу.

Процеси управління і контрольовані процеси, повідомлення, що поставляють засобами телемеханіки, підрозділяють на два основні види: дискретні та безперервні. **Дискретні** процеси – зміна кінцевих станів контрольованих об'єктів, наприклад вимикачів потужності, двох і більше позиційних перемикачів, – обслуговуються пристроями телекерування і телесигналізації; **безперервні** процеси – процеси вимірювання і регулювання контрольованих параметрів, що безперервно змінюються, – обслуговують пристроями телевимірювання. Телемеханічні повідомлення щодо надання інформації дискретних процесів – телесигналізація і телекерування – є дискретними повідомленнями, телемеханічні повідомлення щодо безперервних процесів – телевимірювання – можуть мати або безперервний, або дискретний характер.

4.4. Визначення кількості інформації у телемеханічних повідомленнях на основі поняття ентропії

4.4.1. Початкова інформація у випадку телесигналізації

Покладемо, що є N джерел дискретних повідомлень, які мають m дискретних станів. Приймемо, що такими джерелами є об'єкти телесигналізації – вимикачі потужності на електростанціях, які можуть знаходитися в увімкненому або вимкненому станах ($m = 2$), і що стани вимикачів не залежать один від одного. Тоді, знаючи статистику перебування вимикачів у увімкненому і вимкненому стані можна підрахувати кількість початкової інформації від кожного i -го вимикача, як невизначеність (ентропію) його стану:

$$I_i = - [p_{iVB} \log p_{iVB} + (1 - p_{iVB}) \log(1 - p_{iVB})], \quad (4.4.1.1)$$

де p_{iVB} – це ймовірність увімкненого стану i -го вимикача.

Значення, отримане за (4.4.1) характеризує середню кількість інформації, що припадає на одне повідомлення від даного вимикача у випадку багатократних відправлень цих повідомлень.

Однак, вимикачі перемикають доволі рідко (лише у аварійних станах), а диспетчера цікавить інформація щодо стану вимикача в поточний момент часу, а не середня кількість інформації. Тому ентропія джерела не може бути мірою

кількості оперативної інформації, що отримує диспетчер. Ця міра може характеризувати лише вихідну інформацію, яку в середньому може надати контрольований об'єкт. Ентропія джерела може бути використана для порівняння кількості вихідної інформації різних об'єктів. Оскільки ентропії незалежних об'єктів можна додавати, то кількість вихідної інформації контрольованого пункту з N об'єктами ТС може бути визначено за виразом:

$$I_{TC} = \sum_{i=1}^N I_i. \quad (4.4.1.2)$$

4.4.2. Кількість інформації у повідомленні за наявності завад під час передавання

Кількість отриманої інформації під час дії завад в процесі передавання повідомлень зменшується на значення невизначеності, що обумовлена завадами.

Нехай $H(\alpha)$ – невизначеність джерела інформації, наприклад – невизначеність стану об'єкта, що має m позицій. Якби не було завад під час передавання повідомлень про те, що в даний момент об'єкт знаходиться в одній з m позицій (наприклад, в i -й позиції), невизначеність стану об'єкта повністю б ліквідувалась. Це означає, що отримувана середня інформація під час зміни положення об'єкта дорівнює вихідній інформації, що вимірюють ентропією $H(\alpha)$.

Проте, внаслідок наявності завад отримане повідомлення про те, що об'єкт знаходиться в i -й позиції, не є повністю достовірним, тобто з якоюсь ймовірністю цей об'єкт може в дійсності знаходитись не в i -й позиції, а в будь-якій іншій з $(m - 1)$ позицій. Це означає, що до i після прийому повідомлень залишається невизначеність стану об'єкта, яка може бути охарактеризована умовною невизначеністю $H(\alpha)$, де $H_{\beta}(\alpha)$ – невизначеність стану об'єктів на передаючій стороні α за умови отримання повідомлень щодо цих станів на приймаючій стороні β . Необхідно наголосити, що значення $H_{\beta}(\alpha)$ повинно бути набагато менше $H(\alpha)$, оскільки в іншому випадку передавання інформації не мало б сенсу. Таким чином, за наявності завад, отримана кількість інформації в середньому на одне повідомлення становить:

$$I = H(\alpha) - H_{\beta}(\alpha). \quad (4.4.1.3)$$

Значення α характеризує процес повідомлень з передаючої сторони, значення β характеризує процес отримання та відтворення інформації на приймаючій стороні.

Зменшення кількості отриманої інформації внаслідок дії завад розглянемо на прикладі передавання повідомлень щодо стану вимикача потужності (двопозиційний об'єкт ТС).

Нехай ймовірність увімкненого стану $P(1)$; ймовірність відімкненого стану $P(2)$; ймовірність спотворення сигналу та переходу одного повідомлення в інше p ; ймовірність правильного прийому повідомлень $(1 - p)$.

Складаємо матрицю умовних ймовірностей передавання та приймання повідомлень (табл. 4.4.1.1).

Таблиця 4.4.1.1 - Матриця умовних ймовірностей передавання та приймання повідомлень

Повідомлення		(1)	(2)
Ймовірність передавання повідомлення		$P(1)$	$P(2)$
Отримані повідомлення (сигнали)	(1)	$P_1(1)$	$P_1(2)$
	(2)	$P_2(1)$	$P_2(2)$

В табл. 4.4.1.1 $p_1(1) = 1 - p$ – це ймовірність правильного прийому повідомлення, тобто того, що при отриманні сигналу «1» було послане повідомлення «1»;

$p_1(2) = p$ – це ймовірність того, що при отриманні сигналу «1» об'єкт знаходиться у стані «2», тобто – ймовірність помилкового повідомлення.

Аналогічно для другого сигналу маємо: $p_2(1) = p$; $p_2(2) = 1 - p$.

Таким чином, матриця ймовірності має наступний вигляд:

$$\begin{vmatrix} (1-p) & p \\ p & (1-p) \end{vmatrix}.$$

Обчислимо середнє значення невизначеностей:

– невизначеність стану першого об'єкту у разі отримання першого сигналу:

$$H_1(\alpha) = -(1-p) \log(1-p) - p \log p,$$

– невизначеність стану першого об'єкту у разі отримання другого сигналу:

$$H_2(\alpha) = -p \log p - (1-p) \log(1-p).$$

Середнє значення невизначеностей для всіх об'єктів з урахуванням того, що передавання про увімкнений стан з об'єкту йде з ймовірністю $P(1)$, а про вимкнений – з ймовірністю $P(2)$ становить:

$$\begin{aligned} H_3(\alpha) &= P(1)H_1(\alpha) + P(2)H_2(\alpha) = (P(1) + P(2)) * (-p \log p - (1-p) \log(1-p)) = \\ &= -p \log p - (1-p) \log(1-p). \end{aligned}$$

Таким чином, середня кількість інформації, що доводиться на одне повідомлення, рівна:

$$I = H(\alpha) - H\beta(\alpha) = -P(1) \log P(1) - P(2) \log P(2) - (-p \log p - (1-p) \log(1-p)).$$

Хай $P(1) = P(2) = 0,5$ і $p = 10^{-3}$, тоді $I = 0,99$, тобто наявність завад під час передавання призводить до зменшення кількості одержуваної інформації. У загальному випадку за m станів об'єктів і ймовірності цих станів $P(i)$ ($i = 1 \div m$), кількість інформації визначають за формулою (4.3.5):

$$H(\alpha) = - \sum_{i=1}^m P(i) \cdot \log P(i);$$

$$H_{\beta}(\alpha) = - \sum_{i=1}^m P(i) \cdot \left[\sum_{j=1}^m P_i(j) \cdot \log P_i(j) \right],$$

де $P_i(j)$ – умовна ймовірність стану i у разі отримання сигналу щодо позиції j .

4.4.3. Інформація щодо стану об'єктів ТС на контрольованому пункті

Разом з оцінкою кількості інформації в повідомленнях щодо стану окремих об'єктів ТС виникає необхідність в оцінюванні кількості інформації в деяких узагальнених повідомленнях щодо стану контрольованого об'єкту загалом. Покладемо, що контрольований об'єкт (електропідстанція) переходить у аварійний стан з ймовірністю P_a . Джерелами аварійного стану є N двопозиційних апаратів, при цьому $P(1)+P(2) + \dots + P(N)=P_a$, де $P(1) \dots P(N)$ – ймовірність аварійного стану об'єктів. Аварійні стани апаратів $1 \dots N$ незалежні, і аварійний стан будь-якого апарату кваліфікується як аварійний стан всієї підстанції.

Покладемо, що ніяких сигналів з підстанції не надходить. Тоді **невизначеність** стану підстанції (тобто нормальний або аварійний стан) визначають за величиною ентропії:

$$H_0(\alpha) = - P_a \log P_a - (1 - P_a) \log P_a.$$

Хай з підстанції надходить один сигнал: «на підстанції аварія». У цьому разі невизначеність стану аварії на підстанції зникне, тобто $H_1(\alpha)=0$.

Проте, залишається невизначеність, який саме з апаратів є причиною аварії. Величину цієї невизначеності позначимо $H_{sj}(\beta)$, де s – число груп, на які розбито контрольовані апарати і рівне їм число сигналів, що надходять з підстанції; j – номер групи, від якої надходить сигнал. Отже, за значень $s=1$ ($j=1$) маємо:

$$H_{11} = \sum_{i=1}^N P_{11}(i) \cdot \log P_{11}(i)$$

де $P_{11}(i)$ – умовна ймовірність аварійного стану i -го об'єкту у разі надходження одного сигналу з підстанції.

$$P_{11}(i) = \frac{P(i)}{P_a}$$

У разі розбивання всіх джерел аварії на дві групи: 1-а група $1, 2, \dots, k$; 2-а група $k+1, k+2, \dots, N$ і отриманні сигналу, що відбулася аварія, наприклад, в першій групі маємо:

$$P_{21}(1)+P_{21}(2)+\dots+P_{21}(k)=1,$$

де $P_{21}(i)$ – умовна ймовірність аварії i -го джерела з 1-ї групи і надходженні інформації по 1-й групі. За теоремою Байєса щодо умовної ймовірності маємо:

$$P_{21}(i) = \frac{P_i(21) \cdot P_i}{P_{21}} = \frac{P(i)}{\sum_{i=1}^{i=k} P(i)},$$

де $P_i(21)$ – умовна ймовірність того, що у разі аварії на i -ому об'єкті надійде сигнал по 1-й групі; оскільки за умовою i -й об'єкт входить до 1-ої групи, то за відсутності завад $P_i(21)=1$; $P(i)$ – ймовірність аварії i -ого джерела на підстанції; P_{21} – ймовірність аварії в 1-й групі у разі розбиття об'єктів на дві групи.

Отже:

$$H_{21}(\beta) = - \sum_{i=1}^k P_{21}(i) \cdot \log P_{21}(i).$$

Аналогічно, у разі надходження інформації по 2-й групі, маємо:

$$H_{22}(\beta) = - \sum_{i=1+k}^{i=N} P_{22}(i) \cdot \log P_{22}(i),$$

де
$$P_{22}(i) = \frac{P(i)}{\sum_{i=k+1}^{i=N} P(i)}.$$

Для загального випадку розбиття на s груп та надходження інформації за j -ю групою, отримаємо:

$$H_{sj}(\beta) = - \sum_{i=k_1} P_{sj}(i) \cdot \log P_{sj}(i),$$

$$P_{sj}(i) = \frac{P(i)}{\sum_{k_1} P(i)},$$

де k_1, k_2 – номери першого і останнього джерела інформації в j -й групі.

За кількості груп s , що дорівнює кількості джерел інформації N , надходження будь-якого повідомлення повністю усуває невизначеність щодо джерела аварії. Дійсно, у разі $s=N$ в кожній групі розбиття міститься по одному об'єкту, оскільки $k_1=k_2$ і ймовірність $P_{Nj}(i) = 1$.

Розбиття на групи може бути найрізноманітнішим. Наприклад, якщо всього N об'єктів, то може бути (2^N-2) способів розбиття їх на дві групи.

Оптимальним вважають таке розбиття на групи, коли ймовірність аварій кожної групи однакова, тобто $P_{sj}=\text{const}$, при $j=1 \dots s$.

На графіку рис. 4.4.3.1 наведена крива ентропії $H_{sj,cp}$ від числа груп s . Залежність $H_{sj,cp}(\beta)=f(s)$ характеризує невизначеність, осереднену за всіма групами s , що залишилися після надходження узагальненого сигналу по j -й групі з s .

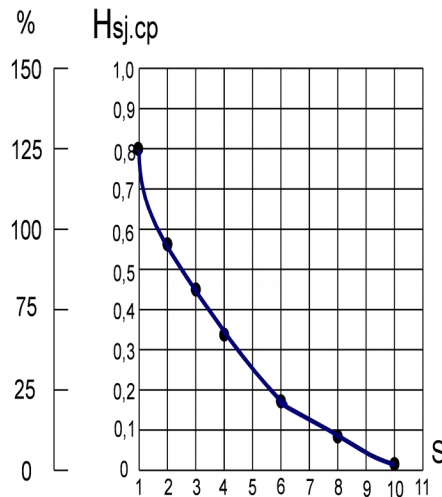


Рисунок 4.4.3.1 - Крива ентропії $H_{sj,cp}$ від числа груп s

Точки цієї кривої підраховували за виразом: $H_{sjcp}(\beta) = \sum_{j=1}^{j=s} P_{sj} \cdot H_{sj}(\beta)$.

Одержана залежність зменшення невизначеності стану устаткування за наявності повідомлень щодо стану групи устаткування дозволяє оцінити число узагальнених сигналів з контрольованого пункту, яке є достатнім для заданого рівня контролю. Наприклад, згідно графіку рис. 4.4.3.1, передача $s=6$ узагальнених сигналів від 12 об'єктів ТС знижує невизначеність щодо причин аварії майже на 80% у порівнянні з передачею одного узагальненого сигналу ($s=1$).

4.4.4. Інформація та упевненість в ухваленні рішень щодо керування

У системах управління за участю людини (автоматизованих системах управління) завдання інформаційного забезпечення полягає в збільшенні упевненості людини в правильності ухвалюваних рішень по управлінню контрольованими об'єктами.

Ступенем упевненості ухвалення рішення називають відношення ймовірності ухвалення правильного рішення за наявності інформації до апіорної ймовірності ухвалення рішення. Збільшення ймовірності ухвалення правильного рішення під час надходження додаткової інформації може слугувати мірою цієї інформації, яку можна назвати **кібернетичною мірою інформації**. За одиницю кібернетичної міри інформації прийемо таку інформацію, яка **удвічі** підвищує ступінь упевненості при ухваленні рішення.

Ймовірність ухвалення рішення (подія A) за наявності додаткової інформації (подія B) може бути визначена як умовна ймовірність події A у випадку виконання події B за формулою Байєса:

$$P_B(A) = \frac{P_A(B) \cdot P(A)}{P(B)},$$

де $P(A)$ - апіорна ймовірність ухвалення рішення; $P_A(B)$ - ймовірність наявності достовірної інформації у разі ухвалення рішення; $P(B)$ - апіорна ймовірність отримання інформації щодо контрольованого об'єкту.

Необхідно зазначити, що ступінь упевненості g може бути більшим одиниці у разі отримання інформації і меншим одиниці (у разі отримання дезінформації):

$$g = \frac{P_B(A)}{P(A)} = \frac{P_A(B)}{P(B)}.$$

Кібернетична міра інформації:

$$I_k = \log(g) = \log\left[\frac{P_B(A)}{P(A)}\right].$$

Величина I_k може бути додатною або від'ємною. Наприклад, за значення $g=2$ одержуємо $I_k=1$, а за $g=0,5$ $I_k=-1$.

4.5. Кількість інформації в безперервних повідомленнях

Безперервні повідомлення, наприклад – телевимірювання, характеризують нескінченним числом значень передаваного параметра. Проте, на практиці передавання безперервних повідомлень проводять з кінцевою точністю. Тому і кількість інформації безперервного повідомлення може бути виражена кінцевим числом. Для цієї мети безперервний в часі параметр телевимірювання квантують за рівнем у межах його діапазону зміни (x_{MAX} - x_{MIN}) із кроком квантування ΔX , визначуваним точністю телепередачі. Тоді число рівнів розбиття параметра складе:

$$m = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{\Delta X}.$$

У разі представлення безперервного повідомлення у вигляді квантованого за m рівнями, кількість інформації в безперервному повідомленні може бути підрахована так само, як і у дискретному повідомленні, що може приймати одне з m значень за формулою (4.5.1):

$$I = - \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log(p_i),$$

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1.$$

Якщо перебування параметра на будь-якому з m рівнів рівноймовірно, то

$$I = - \frac{m}{m} \cdot \log\left[\frac{1}{m}\right] = \log m.$$

Таким чином, може бути підраховано середнє значення інформації, що доводиться на одне повідомлення, наприклад – відлік за цифровим приладом.

Якщо зона відхилень розбита на m_i рівнів, то диспетчер повинен реагувати на інформацію щодо кожного нового рівня, оскільки в іншому випадку виокремлення цих рівнів не потрібне. Отже, кількість інформації, яку диспетчер додатково отримує в зоні, може бути підрахована як $-\log P_s(i)$, де $P_s(i)$ – умовна ймовірність перебування параметра на i -му рівні (одному з m_i) зони. Вважаючи, що всі рівні в зоні рівноймовірні, тобто $P_s(i)=1/m_i$ отримаємо, що після надходження

інформації щодо входження до зони диспетчер отримує додаткову інформацію від кожного рівня, рівню $\log m_i$.

Для ілюстрації визначення кількості інформації, що надходить диспетчеру при ТІ, прийемо наступні умови прийому і відображення інформації (рис. 4.5.1).

1. Весь діапазон зміни параметра розбитий на п'ять зон:

– зона нормального стану параметра з плановими відхиленнями (ОИИ на рис.4.5.1);

– зона відхилень, що вимагають втручання диспетчера (дві зони нижніх і верхніх меж ОИР);

– зона аварійних значень (дві зони нижніх і верхніх меж ОИА).

Відомі статистика перебування параметра в зонах і число рівнів дискретності в кожній зоні. Ймовірність перебування параметра на всіх рівнях в межах даної зони однакова. Величину параметра в цих зонах указує цифровий прилад.

Перехід до аварійної зони супроводжує загоряння лампи аварії ЛА.

Як приклад розглянемо статистику перебування параметра в зонах і число рівнів дискретності (див. табл. 4.5.1).

Таблиця 4.5.1 – Статистику перебування параметра в зонах і число рівнів дискретності

Зона	ОИИ	+ОИР	~-ОИР	+ОИА	-ОИА
Кількість рівнів дискретності	32	14	14	2	2
Ймовірність перебування у зоні	0,98	0,008	0,008	0,002	0,002

Якщо в зоні ОИИ диспетчер отримує інформацію без виокремлення рівнів зони, то середня кількість інформації, яку він отримав, поглянувши на лампу ЛНС, може бути обчислена через ентропію стану ЛНС:

$$I_1 = - 0,98 \log 0,98 - 0,02 \log 0,02 = 0,141441.$$

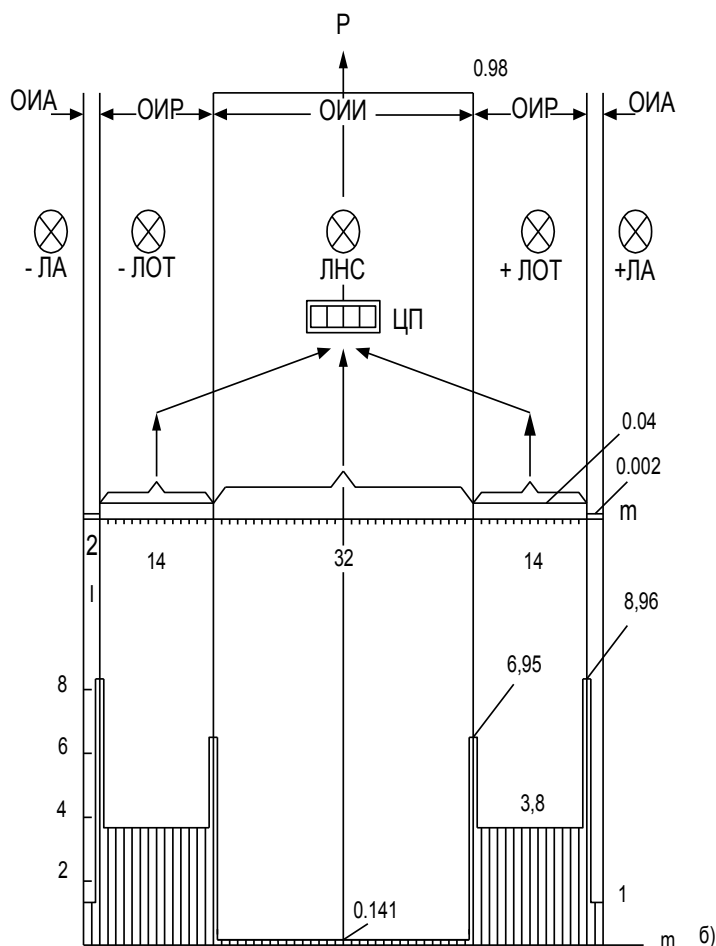


Рисунок 4.5.1 – До визначення кількості інформації в ТІ: а) діаграма ймовірності розподілу параметра ТІ за зонами і рівнями; m – кількість рівнів дискретності; ЛНС – лампа нормального стану: +ЛОТ, -ЛОТ – лампи відхилень позитивної і негативної зон; +ЛА, -ЛА – лампи відповідних аварійних відхилень; ЦП – цифровий прилад; б) епюра кількості одержуваної диспетчером інформації.

У разі переходу до зони ОИР диспетчер отримує інформацію від лампи ЛОТ, рівню:

$$I_2 = \log_2 \frac{1}{0,008} = 6,955784.$$

Додаткова кількість інформації щодо досягнення одного з рівнів зони, що отримують з цифрового приладу, становить:

$$I_{\frac{1}{2}} = \log_2 14 = 3,80735.$$

Кількість інформації у разі переходу до зони ОИА (загоряння лампи ЛА) рівна:

$$I_3 = \log_2 \frac{1}{0,002} = 8,965784.$$

I , нарешті, додаткова інформація, яку одержують від кожної з двох ламп, що відзначають аварійні рівні:

$$I_{\frac{1}{2}} = \log 2 = 1.$$

Дані розглянутого прикладу ілюструє рис. 4.5.1, де представлено діаграму ймовірності розподілу параметра ТІ за зонами і рівнями з умовними зображеннями засобів відображення і епоуру кількості одержуваної диспетчером інформації.

5. СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОДІВ

5.1. Основні поняття та визначення

Код – математичний закон побудови дискретних сигналів, які відповідають повідомленню. Кодову комбінацію записують як послідовність умовних символів. **Символ** – елемент кодової комбінації (наприклад, 0, 1, ...).

Основні **завдання** кодування:

1) Спільне завдання кодування – переклад різноманітних повідомлень (керуючих, вимірювальних тощо) на мову кодових сигналів.

2) Друга задача полягає в передаванні необхідної кількості повідомлень. Якщо число повідомлень N перевищує число якісних ознак сигналів m ($N > m$), то для передавання повідомлення складають комбінацію з n елементарних сигналів з m ознаками (наприклад, в Україні використовують алфавіт з $n \leq 32$ букв; а у Китаї $N = m$).

Закон $N = f(n, m)$ – є **кодом** телемеханічних повідомлень.

3) Забезпечення секретності повідомлень (код відомий лише кореспондентіві).

4) Надійність виявлення помилок (у разі телеконтролю хибні команди мають бути вилучені).

Ці завдання треба вирішувати в комплексі (необхідні компроміси).

5.2. Основні характеристики кодів

Кількість **символів** (m) у кодовому алфавіті визначає **основу** коду:

$m = 2$ – код двійковий;

$m = 3$ – тризначний;

$m > 3$ – багатозначний.

Число **розрядів** (n) у кодових комбінаціях визначає **довжину** коду.

Код називають рівномірним, якщо довжина всіх кодових символів однакова ($n = const$).

Ємність коду:

$$N = m^n.$$

Кількість комбінацій N_p , які використовують лише для повідомлень називають **робочими** $N_p(n, m)$.

Надлишковим називають код, якщо з усіх можливих комбінацій $N = m^n$ для передавання використовуються лише їх частину:

$$N_p < N.$$

Решта комбінацій ($N - N_p$) необхідна для **перевірки** вірності сигналу.

Надлишковість кодів характеризують **коефіцієнтом надлишковості** $k_{Н/Л}$:

$$k_{Н/Л} = 1 - \frac{\log_m N_p}{\log_m N},$$

Зазвичай $0 \leq k_{НЛ} < 1$. У разі $k_{НЛ} = 0$ код є *безнадлишковим* і завадоне захищеним, оскільки всі можливі комбінації використовують як робочі:

$$N_p = N.$$

Кодова відстань d – характеризує на скільки одна робоча комбінація віддалена від іншої, вона дорівнює числу одноіменних розрядів з відмінними символами.

Наприклад, для двійкових кодів d визначають вагою (числом "1") суми за модулем "2" (логічна операція виключного "або") двох кодових комбінацій: наприклад, d між комбінаціями 0110111 та 1101010 ($\sum_{|2|} = 1011101$) дорівнює 5 (п'ять одиниць).

Чим більша d , тим важче завадам спотворити одну робочу комбінацію в іншу.

Завади характеризують кратністю k_z – числом символів коду, які завада здатна спотворити ($0 \rightarrow 1$ і навпаки).

d_{min} характеризує мінімальну кратність завади, якої достатньо аби призвести до виявлення помилок. Наприклад, для $d_{min} = 1$ вже однократна похибка, що спотворює 1 біт у кодовій комбінації, призводить до хибного повідомлення.

Для виявлення всіх помилок кратністю до k_z має бути:

$$d_{min} = k_z + 1.$$

У такому разі жодна завада кратністю до k_z не зможе створити хибне повідомлення, оскільки приймач забороняє їх виконання.

За необхідності не лише виявляти помилки, але і відтворювати (виправляти) спотворені кодові комбінації слід збільшити d_{min} до значення:

$$d_{min} \geq 2s + 1,$$

де s – кратність помилки. Отриману кодову комбінацію з помилками кратністю до s визнають як найближчу до неї робочу, розміщену на відстані $\leq s$.

Для виявлення k_z -кратних помилок та виправлення s -кратних необхідно, аби:

$$d_{min} \geq k_z + s + 1,$$

причому $k_z \geq s$.

5.3. Числові коди

У ТМК "Інгул" застосовують числове двійкове кодування повідомлень (на кшталт азбуки Морзе). У такому разі всі N повідомлень нумерують порядковою послідовністю в двійковій системі числення.

Ціле число N може бути записане у вигляді ряду:

$$N = \sum_{i=0}^{n-1} k_i m^i,$$

де m – основа; n – кількість розрядів числа; i – номер розряду; k_i – розрядні коефіцієнти.

Кількість кодівих комбінацій:

$$N = m^n.$$

Чим більша основа m системи числення, тим коротша кодова комбінація (менше число розрядів у числі N).

Так,

$$(249)_{10} = 2 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0;$$

$$(249)_2 = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \rightarrow 11111001.$$

Але в умовах машинної лічби двійкова система має ряд переваг: наявність лише двох знаків (0 та 1) відповідає двом позиціям двопозиційних елементів автоматики.

Для двійкової системи кількість кодівих комбінацій:

$$N = 2^n.$$

Отже, для запису в двійковому коді числа N треба мати n розрядів:

$$|n| = \log_2 N.$$

Таким чином, у двійковому коді використовують всі можливі кодові комбінації як робочі $N_P = N$, тобто такий код є безнадлишковим ($K_{НЛ} = 0$). Це обумовлює завадозахищеність двійкового коду, тобто навіть одноразова помилка ($0 \leftrightarrow 1$) утворює хибну комбінацію, $d_{min} = 1$.

5.4. Захист двійкового коду

Для захисту двійкових кодів від спотворень завжди застосовують рівномірні коди (фіксованої довжини).

Крім того, для підвищення завадозахищеності до інформаційних символів додають захисні символи.

Існує ряд інших видів захисту коду – підвищення d .

Наприклад, код з повторенням: приймач фіксує збіг розрядів у інформаційній (1) та захисній (2) частинах коду (якщо є розбіжність – комбінацію бракують). У такому разі:

- ємність коду з повторенням: $N_P = 2^{n/2}$;
- коефіцієнт надлишковості: $k_{НЛ} = 0,5$;
- кодова відстань: $d_{min} = 2$.

6. ПЕРЕДАВАННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ У ТЕЛЕМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

6.1. Модеми каналів телемеханіки

Сигнали телемеханічної інформації (ТМІ) – це сукупність дискретних та неперервних сигналів, спектр яких, в загальному випадку, нескінчений. Тому, перед передаванням спектр сигналу має бути обмежений та переміщений до діапазону тональних частот. Такі перетворення здійснюються за допомогою *модему* передавання та модему прийому у процесі модуляції/демодуляції.

Розрізняють наступні способи модуляції сигналу тональної частоти: амплітудна, частотна та фазова модуляції. Нехай рівняння сигналу тональної частоти має вигляд: $U = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

У випадку *амплітудної* модуляції сигналом ТМІ $\Delta U \cdot f(t)$, максимальне та мінімальне значення якого дорівнюють +1 та -1, амплітуда модульованої напруги повинна змінюватись за законом:

$$U = U_m (1 + \Delta U \cdot f(t) / U_m) = U_m (1 + m \cdot f(t)),$$

де m - коефіцієнт модуляції.

Тоді модульований сигнал запишемо таким чином:

$$U_{AM} = U_m (1 + m \cdot f(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (6.1.1)$$

У випадку *фазової* модуляції при зміні модулюючого сигналу за законом $f(t)$ та максимальній зміні початкової фази на величину $\Delta\varphi$, фаза сигналу зміниться за законом:

$$\Theta = \omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi f(t).$$

Миттєве значення фазомодулюючої напруги має наступний вигляд:

$$U_{\Phi M} = U_m \cos\Theta = U_m \cos[\omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi f(t)]. \quad (6.1.2)$$

де $\Delta\varphi$ - індекс фазової модуляції (девіація фази).

У випадку *частотної* модуляції при зміні сигналу ТМІ по закону та максимальній зміні частоти на величину $\Delta\omega$ частота сигналу змінюється за законом:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega f.$$

Зміну частоти супроводжує зміна фази сигналу, причому миттєва фаза сигналу пов'язана із частотою залежністю:

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0. \quad (6.1.3)$$

Отже,

$$\varphi(t) = \omega_0 t + \Delta\omega \int_0^t f(t) dt + \varphi_0. \quad (6.1.4)$$

Таким чином, напругу сигналу, модульованого за частотою, можна записати у вигляді:

$$U_{AM} = U_M \cdot \cos \left[\omega_0 t + \Delta\varphi \int_0^t f(t) dt + \varphi_0 \right]. \quad (6.1.5)$$

З аналізу виразів (6.1.1)-(6.1.5) видно, що спектр модульованого сигналу складається з несучої частоти (сигнал ТЧ), верхньої та нижньої бокових смуг, амплітуда та частота яких залежать від параметрів модулюючого сигналу (сигнал ТМІ) та способу модуляції.

Модульовані сигнали передають по каналах ТЧ, еквівалентом яких є смуговий фільтр. Оскільки спектр модульованого сигналу нескінченно широкий, а смуга пропускання Δf каналу скінчена, то при проходженні сигналу через канал виникають перехідні процеси. Тривалість перехідного процесу передавання амплітудно-, частотно- та фазомодульованих сигналів: $t=1/\Delta f$.

Максимальну швидкість B передавання сигналів визначають за тривалістю перехідного процесу; для каналів з вказаними способами модуляції $B=0,75/t=0,75\Delta f$.

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

Для роботи низькошвидкісних каналів ТМ, які найрозповсюдженіші в енергосистемах, зазвичай використовують верхню частину робочої смуги частот каналів ТЧ. З цією метою в стандартному каналі ТЧ з робочою смугою частот 0,3 - 3,4 кГц фільтрами виокремлюють смугу частот 2,5 - 3,4 кГц для роботи кількох каналів ТМ (рис.6.1.1), при цьому в нижній частині смуги здійснюють ТФ зв'язок. Смугу частот, яка виокремлена для кількох каналів ТМ, називають груповим каналом ТМ. Для роботи середньошвидкісних каналів ТМ виокремлюють весь спектр частот стандартного каналу ТЧ.

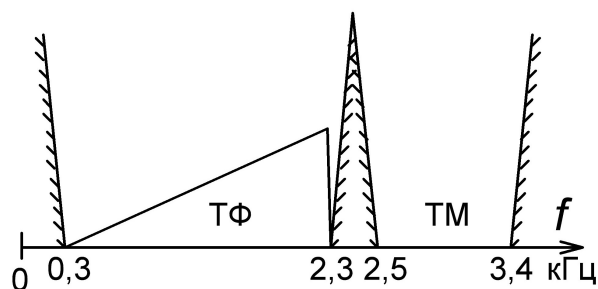


Рисунок 6.1.1 – Смуга частот 2,5 - 3,4 кГц для роботи кількох каналів ТМ

В енергосистемах найрозповсюдженішими є канали телесигналізації (ТС) з частотною модуляцією, спрощену структурну схему яких зображено на рис. 6.1.2.

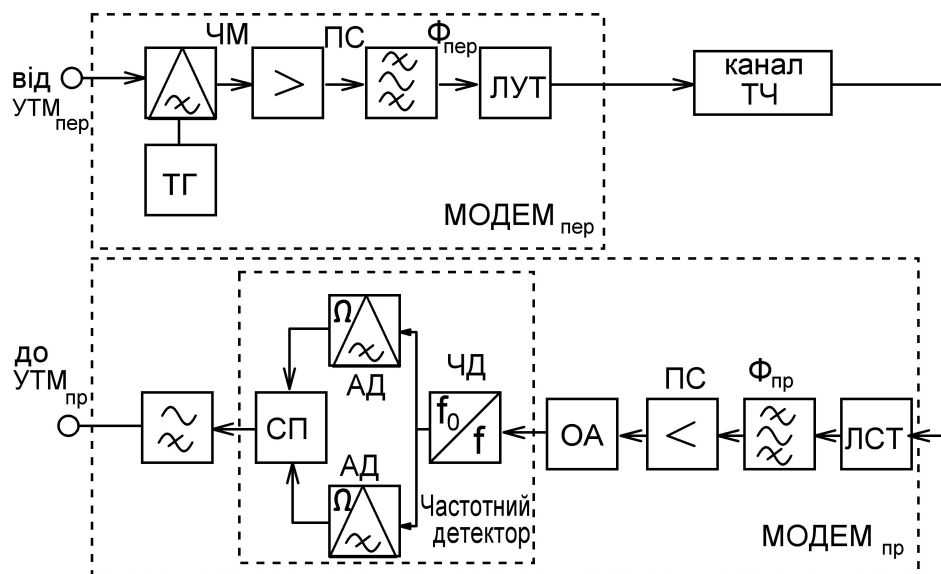


Рисунок 6.1.2 – Структурна схема каналів телесигналізації з частотною модуляцією

Модем передавання містить: генератор тональної частоти (ТГ), керування параметрами коливального контуру якого здійснюють частотним маніпулятором (ЧМ); підсилювач сигналів (ПС); вихідний смуговий фільтр $\Phi_{\text{пер}}$ з лінійним узгоджувачим трансформатором (ЛУТ).

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

Модеми прийому містять ЛУТ (функції аналогічні ЛУТ модему прийому), вхідний смуговий фільтр $\Phi_{\text{пр}}$, підсилювач (ПС), обмежувач амплітуди (ОА), частотний дискримінація (ЧД), амплітудний детектор (АД), схему порівняння (СП) та вихідний фільтр низьких частот (ФНЧ).

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

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

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

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

- модуляційна характеристика модему передавання;
- спектр та рівень перешкоджаючих частот модему передавання;
- чутливість та характеристика обмежувача максимальних амплітуд модему прийому;
- частотна характеристика детектора модему прийому;
- стабільність характеристичних частот модему передавання.

Модуляційною характеристикою модему передавання називають залежність відхилення частоти сигналу на виході модему від напруги первинного сигналу на вході модему.

6.2. Канали зв'язку та особливості передавання повідомлень

Функції передавання повідомлень повинні забезпечувати:

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

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

На транспортному рівні:

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

На каналному рівні:

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

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

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

- **провідні** лінії зв'язку (ПЛЗ) (ВЧ канали по високовольтних ЛЕП (35 кВ та вище) і канали тональної частоти по силових розподільчих мережах 10 кВ і нижче; власні підземні або підвісні кабелі зв'язку та дротяні повітряні лінії зв'язку; орендовані телефонні/телеграфні лінії і канали зв'язку;
- **радіо**канали (на коротких хвилях (КХ) і УКХ);
- **оптоволоконні** лінії тощо.

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

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

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

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

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

Найбільш простим способом щільного використання двопровідної ПЛЗ є схема з поділом каналів на передачу сигналів постійним і змінним струмом (рис.6.2.1).

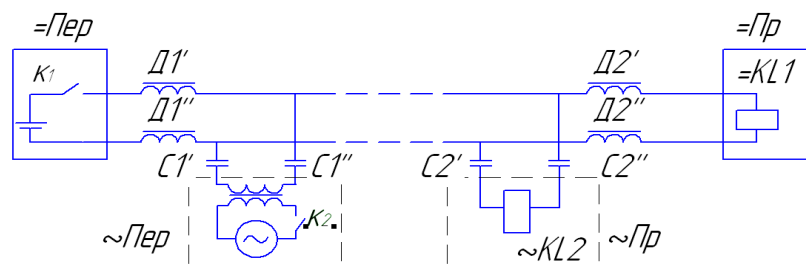


Рисунок 6.2.1 – Схема з поділом каналів на передачу сигналів постійним і змінним струмом

Індуктивні котушки більшу частину змінного сигналу не пропускають до кола постійного струму, а розділові конденсатори $C1$ і $C2$ закривають шлях сигналам постійного струму. Таким чином утворюють два незалежні одне від одного електричні кола для передачі сигналів постійного і змінного струму по одній ПЛЗ.

Штучні кола за схемою врівноваженого моста (рис. 6.2.2).

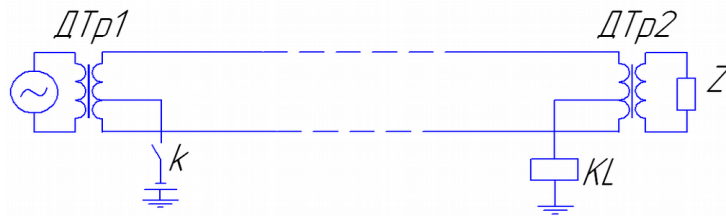


Рисунок 6.2.2 – Штучні кола за схемою врівноваженого моста

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

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

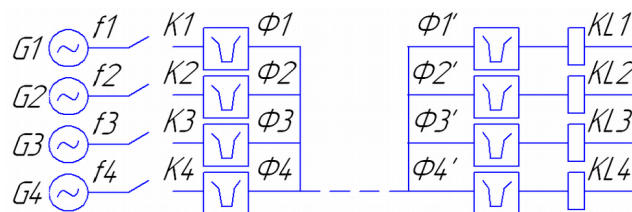


Рисунок 6.2.3 – Схема поділу каналів за допомогою електричних фільтрів

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

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

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

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

Принцип поділу каналів за часом (рис. 6.2.4):

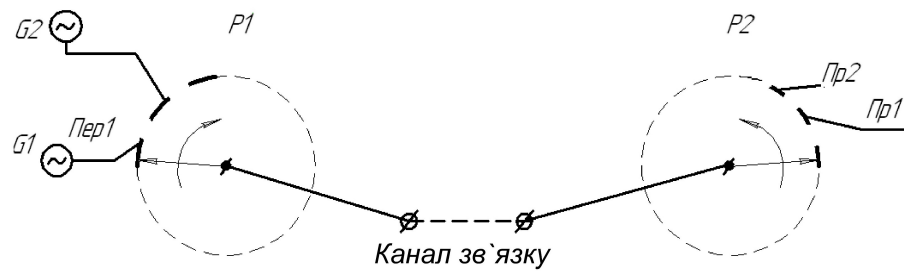


Рисунок 6.2.4 – Поділ каналів за часом

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

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

Характер сигналів за триканальної системи передавання, у разі амплітудної й імпульсної модуляції (рис.6.2.5).

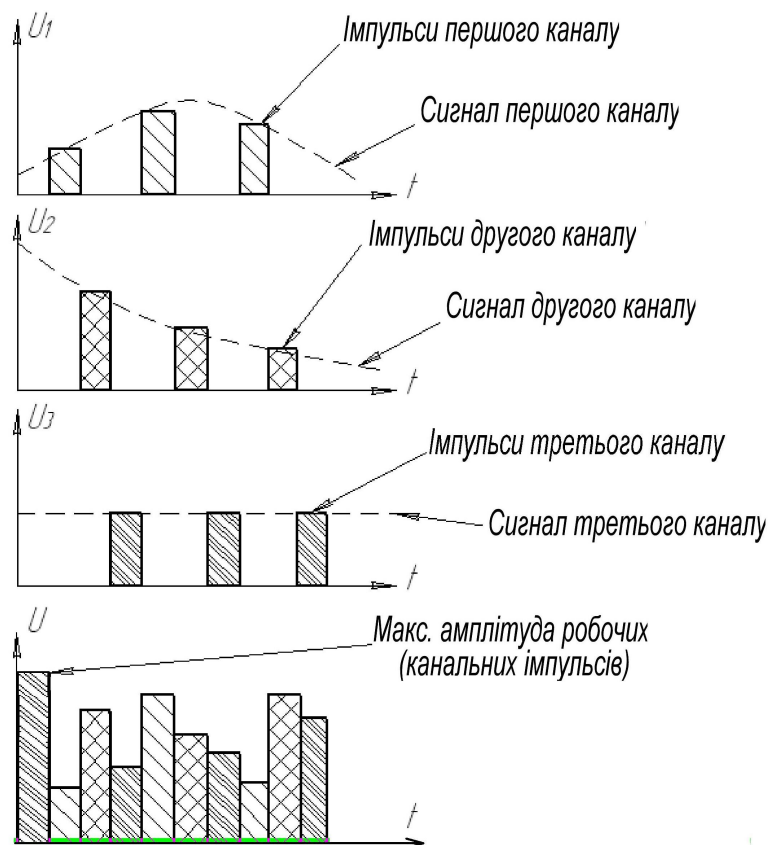


Рисунок 6.2.5 – Характер сигналів за триканальної системи передавання у разі амплітудної й імпульсної модуляції

Початок кожного циклу (рис. 6.2.5) відрізняють за посилкою «Синхронізуючий імпульс-М» (положення 0 – P1 і P2), яка відрізняється за амплітудою від робочих імпульсів кожного каналу. У даному випадку на *Пер* надходять сигнали з **амплітудною** імпульсною модуляцією (АІМ), тобто амплітуди імпульсів залежить від миттєвих значень каналних сигналів.

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

При ШІМ залежно від миттєвого значення сигналу змінюють **тривалість** послілки імпульсу.

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

ШІМ і ФІМ мають вищу завадозахищеність у порівнянні з АІМ.

Повідомлення та інформація

Під **подією** розуміють стан або зміну станів пристроїв ТМ.

Якщо під **повідомленням** розуміти все, що передають про хід виробничого процесу (про подію), то під **інформацією** треба розуміти лише ту частину повідомлень, яка несе новизну і раніше не була відомою одержувачу (оператору ПК)

Інформаційний ланцюг: подія - повідомлення з інформацією - сигнал - КЗ - сигнал - інформація. зображено на рис. 6.2.6.

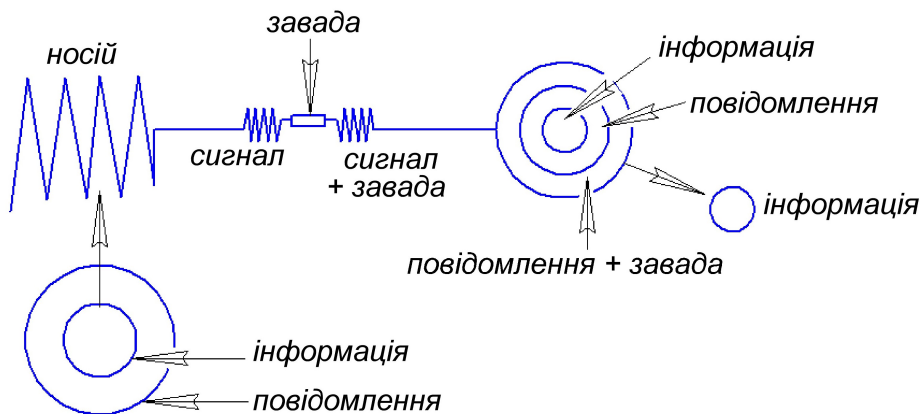


Рисунок 6.2.6 – Схема передавання інформації

Кількість станів керованої системи відповідає кількості повідомлень. Тому інформаційну ємність системи C_n оцінюють логарифмом числа її можливих станів M :

$$C_n = \log_2 M.$$

Одиницею отримуваної інформації слугує її кількість у відповіді «так» чи «ні». Тому за основу логарифму прийнято «2».

6.3. Формати передавання повідомлень в системах телемеханіки

Кодові формати

Невиявлені помилки або втрати повідомлення порушують достовірність передавання даних.

Згідно стандарту МЕК є 3 класи достовірності передачі даних: $I_1 - I_3$. Використання того чи іншого класу визначає важливість повідомлення.

На рис. 6.3.1 показано залежність верхніх меж вірогідності хибних повідомлень R від ймовірності помилкового прийому біт P (R і P у логарифмічному масштабі). Значення $P = 0,5$ відповідає прийому випадкової завади (без сигналу).

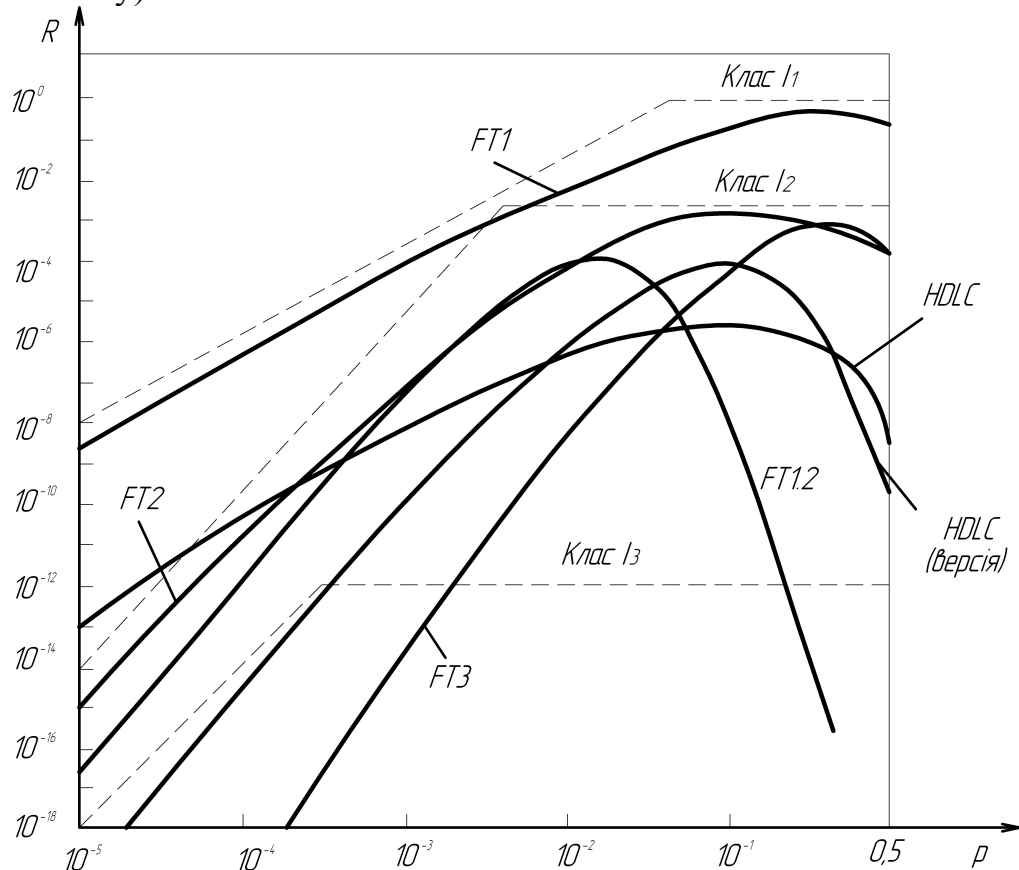


Рисунок 6.3.1 – Залежність верхніх меж вірогідності хибних повідомлень R від ймовірності помилкового прийому біт P

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

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

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

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

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

$$R_{\text{ПР}} = 0,5^k,$$

де k – кількість контрольних символів у коді.

Звідси знаходимо число контрольних символів k , забезпечуючих задані величини $R_{\text{ПР}}$: для двійкових логарифмів $k = -\lg R_{\text{ПР}}$. Отже, для класу I_1 $R_{\text{ПР}} = 2^{-1}$ забезпечує $k = 1$, для класу I_2 $R_{\text{ПР}} = 2^{-8}$ забезпечує $k = 8$, для класу I_3 $R_{\text{ПР}} = 10^{-12}$ забезпечує $k \approx 40$.

Для ілюстрації характеристик класів достовірності приведемо приклад: $P = 10^{-4}$, система телемеханіки безперервно передає повідомлення блоками по 100 біт із швидкістю 1200 біт/с. Знаходимо значення часу T між можливими хибними повідомленнями:

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

де n – довжина блоку повідомлень, біт; V – швидкість передавання; R – ймовірність хибних повідомлень.

Розрахункові значення T для різних класів достовірності наведені в табл. 6.3.1.

Таблиця 6.3.1 – Розрахункові значення T для різних класів достовірності

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

6.4. Ефективність передавання кодових форматів

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

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

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

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

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

6.5. Стандартні кодові формати передавання інформації в системах телемеханіки

Згідно стандартів МЕК в системах телемеханіки передбачають певні кодові формати див. рис. 6.5.1. Формат FT1.1 забезпечує відстань Хемінга $d = 2$, кодове слово вміщує 11біт: 1біт – старт, 8 біт – інформація, 1біт – захист по парності (непарності) і 1 біт – стоп. Додавання в кінці речення одного контрольного 11-бітного слова утворює формат FT1.2 з кодовою відстанню $d = 4$.

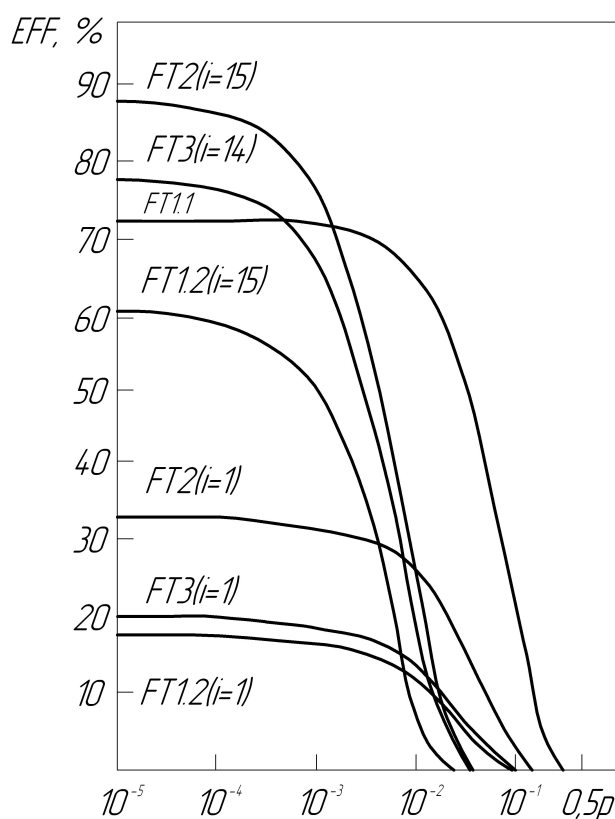


Рисунок 6.5.1 – Ефективність передавання кодів форматів FT1.1, FT1.2, FT2, FT3

Контрольне слово, як і всі інші кодові слова, має біти: старт, стоп, біт парності i , крім того, 8-бітну контрольну суму CS , утворену арифметичною сумою всіх інформаційних байт передуючих кодів слів за модулем 256.

Формати FT1.2 і FT1.3 утворюють кодівими блоками до 16 байт ($n = 128$ біт). Інформаційні кодові слова цих форматів вміщують по 8 біт. Контрольні

слова формують за законами циклічних кодів. Контрольне слово формату FT1.2 має довжину 8 біт, що забезпечує $d = 4$ при числі інформаційних байт до 15.

Контрольне слово формату FT1.3 має довжину 16 біт, що забезпечує $d = 6$ при кількості інформаційних байт до 14.

Кодовий формат протоколу *HDLC* один з найбільш поширених протоколів у системах зв'язку (використовують у мікропроцесорах "Граніт"). Кадр формату (рис. 6.5.1) складається з трьох частин: заголовка, в який входять: байт початку (відкриваючий прапор), байти адреси A , управління C та довжини L ; основи – інформаційний байт даних D ; "кінцевика", вміщуючого захисні байти CS та кінець (закриваючий прапор).

Відкриваючий і закриваючий прапори співпадають та мають завжди фіксовані послідовності біт 01111110 (вказана послідовність зустрічається тільки у прапорах кадру, через це їх легко відрізняють від інших слів кадру).

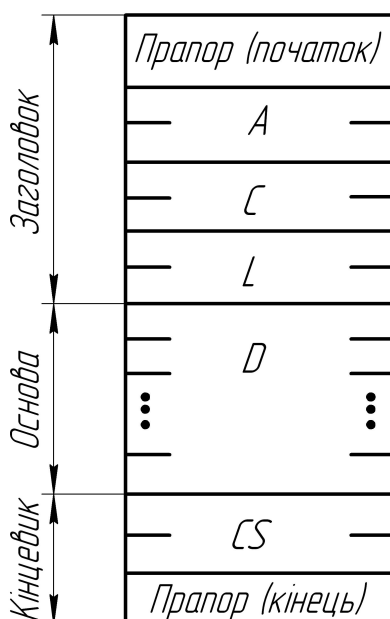


Рисунок 6.5.1 – Частини кадру формату

Формат *HDLC* має низьку кодову відстань, – не більшу за $d = 2$;

формат FT1.1 забезпечує клас достовірності I_1 і може використовуватись при передаванні інформації з відносно невисокою достовірністю, наприклад – циклічних системах телевимірювання (рис. 6.5.1 $R(P)$);

формат FT1.2 забезпечує клас достовірності I_2 і повинен використовуватись при передаванні повідомлень з підвищеною достовірністю, наприклад – інформація телесигналізації, важливі параметри телевимірювання;

формат FT1.3 забезпечує клас достовірності I_2 при всьому діапазоні зміни ймовірності помилки на біт ($P < 0,5$) і клас I_3 при $P < 10^{-3}$; цей формат використовують для передавання особливо важливих повідомлень, наприклад – команд телеуправління.

7. ВИСОКОЧАСТОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК ПО ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

7.1. Пристрої приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання

Для передавання інформації від джерела до одержувача потрібен деякий *носій*, який має достатню стійкість своїх параметрів в просторі і часі, аби була можливість визначити його на стороні одержувача. Аби носій став моделлю повідомлення, між його характеристиками та повідомленням має існувати однозначна, заздалегідь визначена, залежність. Носій, параметри якого знаходяться в однозначній інформаційній відповідності із повідомленням, називають *сигналом*.

Фізична природа та характеристики носія пов'язані з фізичним середовищем між джерелом та одержувачем – каналом зв'язку. Проте *канал зв'язку* – це не тільки фізичне середовище, в якому поширюється сигнал (лінія зв'язку), але й сукупність технічних засобів, призначених для передавання сигналів. Канали передавання інформації створюють за допомогою апаратури передавання на основі різноманітних ліній зв'язку. Для передавання інформації в енергосистемах використовують канали по повітряних та кабельних *лініях зв'язку*, канали *радіозв'язку* та *радіорелейного зв'язку* і, особливо широко, канали *ВЧ зв'язку по дротах ЛЕП*.

Структурна схема ВЧ зв'язку по ЛЕП показана на рис. 7.1.1.

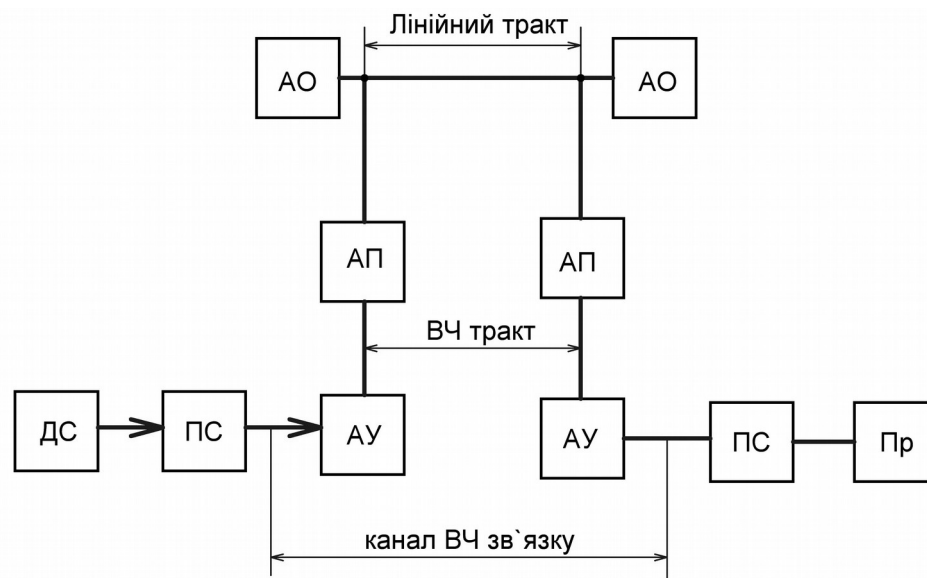


Рисунок 7.1.1 – Структурна схема ВЧ зв'язку по ЛЕП

Джерело сигналів (ДС) підключають до апаратури ущільнення (АУ) через перетворювач сигналів (ПС), який виконує первинне перетворення. Перетворення на передавальному кінці первинних низькочастотних сигналів у високочастотні та зворотне перетворення на приймальному кінці здійснюють в апаратурі ВЧ ущільнення. Апаратура приєднання (АП) слугує для передавання

ВЧ сигналів від АУ на передавальному кінці дроту ЛЕП та для зворотного передавання на приймальному кінці (Пр). Апаратура обробки (АО) слугує для відокремлення по високій частоті дротів ЛЕП, до яких підключають АП, від решти мережі високої напруги.

До основних *переваг* ВЧ зв'язку по ЛЕП відносять високу надійність лінії зв'язку. Крім того, пункти, сполучені ЛЕП, в багатьох випадках співпадають із пунктами, між якими передаватимуть інформацію. З цих причин витрати на створення та експлуатацію каналів зв'язку по дротах ЛЕП значно менші за витрати на інші види каналів. Але каналам по ЛЕП властиві специфічні завади (від корони, ожеледі тощо), рівень яких значно вищий за рівень завод для інших видів каналів.

ВЧ сигнали подають від апаратури ущільнення до лінії електропередавання або з лінії до входу АУ через *пристрій приєднання* (ПП), який містить: конденсатор зв'язку (КЗ), фільтр приєднання (ФП) та ВЧ кабель (рис. 7.1.2).

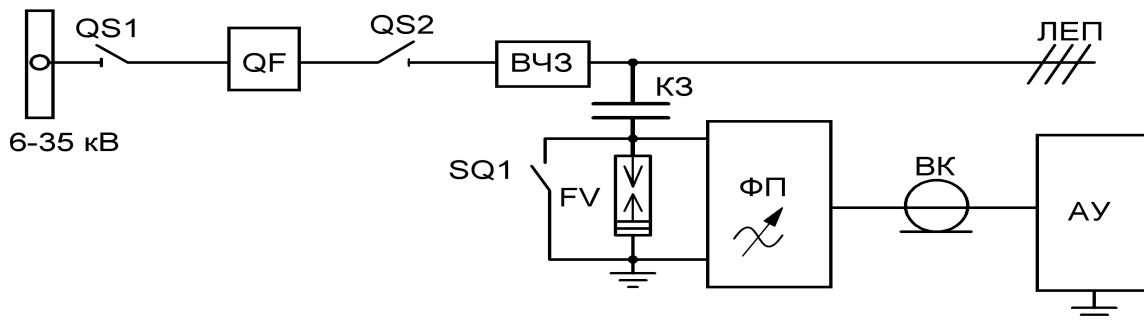


Рисунок 7.1.2 – Передавання ВЧ сигналу від АУ до ЛЕП через пристрій приєднання

Конденсатор зв'язку рис. 7.1.2 призначений для підключення до лінії високої напруги. Опір $KЗ X_C = 1/2\pi fC$ обернено пропорційний його ємності C і частоті f напруги, прикладеної до нього. Тому реактивний опір $KЗ$ для струмів промислової частоти значно більший, ніж для ВЧ струмів (40 - 600 кГц); це дозволяє за допомогою $KЗ$ розділити їх та запобігти потраплянню високої напруги ЛЕП на АУ.

Конденсатор зв'язку також часто використовують для відбору невеликої потужності промислової частоти, або як ємнісний дільник напруги.

Конденсатор зв'язку повинен мати високу електричну міцність, оскільки його пробій призводить до короткого замикання на шинах підстанції. Такий вид короткого замикання супроводжує великий струм, що може призвести до тяжких наслідків.

Найбільше розповсюдження здобули конденсатори у фарфорових корпусах серії СМР (зв'язку, маслонаповнені з компенсатором) та у металевому корпусі серії СММ. У найменуванні конденсатора крім літер є цифри, що

характеризують номінальну напругу $U_{кз}$ та ємність $C_{кз}$, наприклад, СМР-55/3-0,0044:\ $U_{кз}=55/3$ кВ, $C_{кз}=0,0044$ мкФ.

7.1.1 Фільтри приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання

Фільтром приєднання (ФП на рис. 7.1.2) називають прилад, в якому містяться елементи для компенсації реактивного опору X_C у заданій смузі частот, а також для узгодження ВЧ кабелю та лінійного тракту, оскільки хвильовий опір кабелю не рівний характеристичному опору лінійного тракту. Крім цього, ФП заземлює нижню обкладку КЗ за промисловою частотою, при цьому утворює шлях для струмів промислової частоти та забезпечує безпеку праці.

Перенапруження, виникаючі у ЛЕП, крізь КЗ потрапляють до ФП, а отже – до ВЧ кабелю та АУ. Для захисту цих елементів від перенапруги між нижньою обкладинкою КЗ та заземленням вмикають розрядник FV (див.рис. 7.1.2), який пробивається на фронті імпульсу та обмежує максимальне значення перенапруги на вході ФП. Пробивну напругу FV зазвичай обирають у межах 1,6-2,5 кВ.

При обриві кола обмотки ФП на нижній обкладинці КЗ з'являється фазна напруга по відношенню до землі. Тому всі переключення у колах обмотки ФП проводять за увімкнутого заземлюючого ножа $SQ1$ (рис. 7.1.2).

При розгляді електричних характеристик ПП під ФП розуміють схему фільтра, яка вміщує КЗ. За малих значень ємності конденсатора зв'язку доцільно застосування компенсаційних пристроїв, оскільки за їх допомогою на кількох фіксованих частотах можна здійснити приєднання з меншим загасанням, ніж у випадку смугового налаштування. За великих значень ємності КЗ застосування компенсаційних пристроїв недоцільне.

Фільтр приєднання за схемою смугового фільтра типу K може виконуватися за повною T -подібною схемою (рис. 7.1.3 а) або за схемою Γ -подібної напівланки (рис. 7.1.3 б). У наведених пристроях трансформатор T виконує функції узгоджувального трансформатора.

Використовують також трансформаторну (рис. 7.1.3 в) та автотрансформаторну (рис. 7.1.3 г) схеми ФП, які є різновидом смугового фільтра типу m . Дані схеми не містять окремого узгоджувального трансформатора, оскільки узгодження опорів ЛЕП та кабелю здійснюють вибором співвідношення між індуктивностями L_1 і L_2 , та коефіцієнтом магнітного зв'язку M між ними (для схеми рис. 7.1.3 в).

Фільтр приєднання характеризують наступними параметрами:

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

Промисловість випускає ФП серії ФПУ, УФП-66М, ОФП-4 та ФП-500. Всі фільтри приєднання є однофазними, тобто призначені для використання у схемах приєднання фаза-земля. У разі необхідності, для утворення каналу за схемою фаза-фаза використовують два ФП, кожний з яких працює на окремий ВЧ кабель.

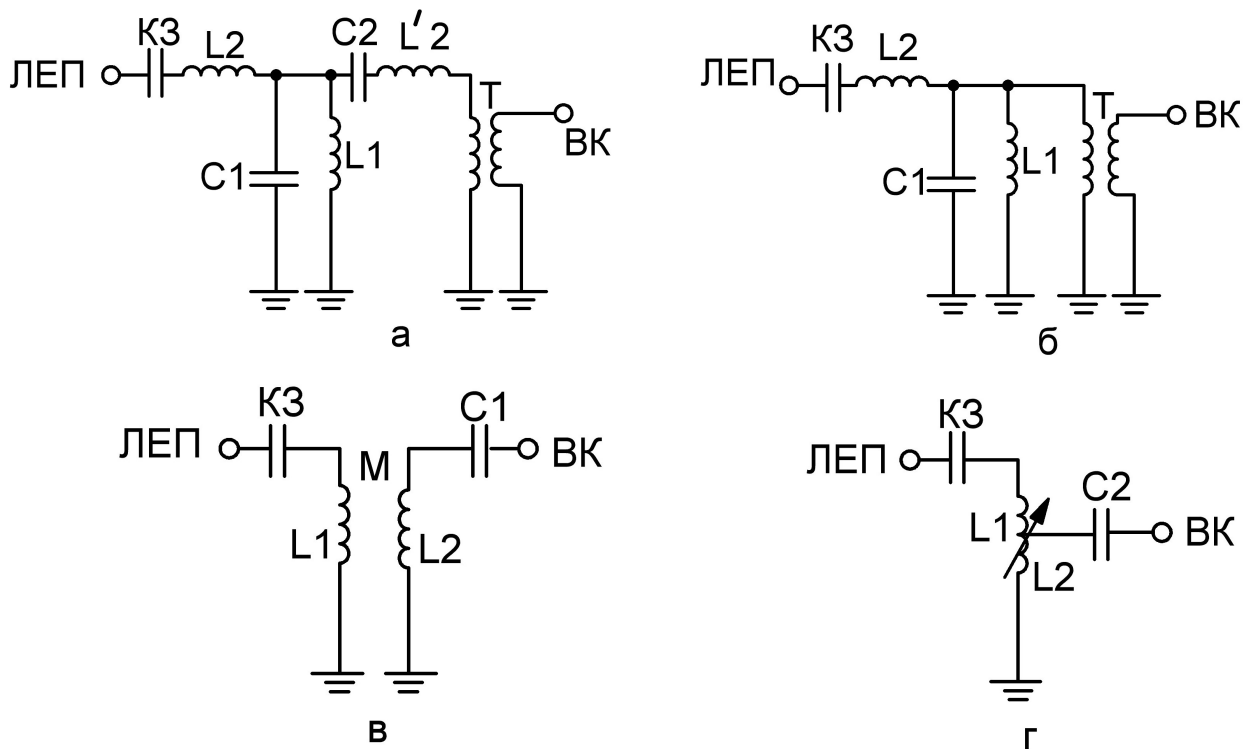


Рисунок 7.1.3 – Фільтри приєднання: а) смуговий фільтр типу *K*; б) Г-подібний смуговий фільтр; в) трансформаторний смуговий фільтр; г) автотрансформаторний смуговий фільтр

Фільтр приєднання серії ФПУ призначений для роботи з усіма типами КЗ ємністю 2140-17500 пФ для ЛЕП напругою від 35 до 750 кВ. У більшій частині частотних діапазонів ФП виконані за трансформаторною схемою. На окремих широкосмугових діапазонах, особливо за великих значень ємності КЗ, використовують автотрансформаторну схему. Конструктивно фільтр виконаний у металевому корпусі, призначеному для кріплення на опорі під КЗ.

Фільтр серії УФП-66М призначений для роботи на ЛЕП 35-110 кВ, але використовується на ЛЕП 6, 10 та 25 кВ при $C_{KI} = 1000-35000$ пФ у смузі частот 14-600 кГц.

Для приєднання АУ до розподільної електричної мережі напругою 6-35 кВ призначений фільтр серії ФП-РС-6-35. Фільтр може бути налагоджений за схемою фільтра верхніх частот (ФВЧ) та за схемою компенсаційного пристрою, спрощені схеми яких зображені відповідно на рис. 7.1.4 а, б.

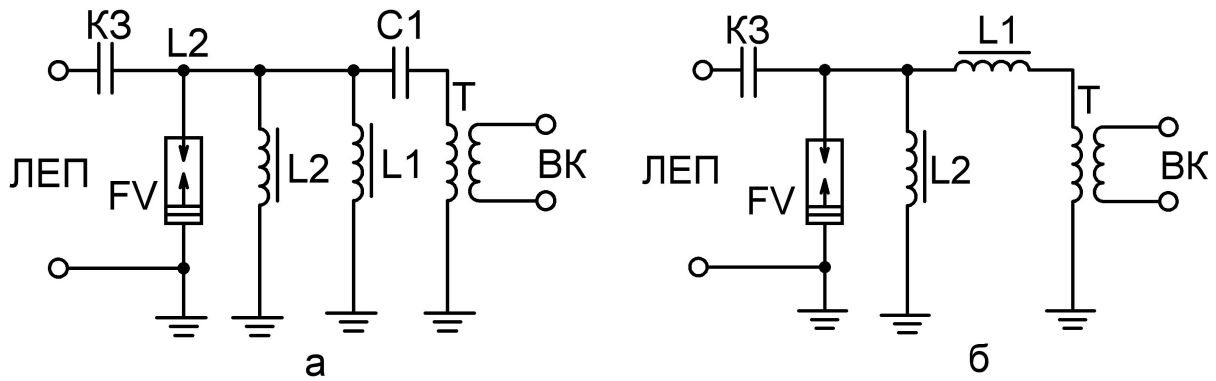


Рисунок 7.1.4 – Фільтр верхніх частот (а) та фільтр за схемою компенсаційного пристрою (б)

Схема ФВЧ являє собою ланку типу K . Заземлення $K3$ здійснюють через дросель ДР, індуктивність якого достатньо велика, аби запобігти шунтуванню ВЧ сигнала. Схема компенсаційного пристрою (КП) являє собою послідовний резонансний контур, та розрахована на $K3$ ємністю 4400 пФ.

Трансформатор T в обох схемах виконує функції узгоджувачого трансформатора.

Високочастотний кабель (ВК) (рис. 7.1.2) слугує для зв'язку АУ з ФП. Навантаженням ВК є вхідні опори ФП та АУ. Вхідний опір ФП може значно змінюватись залежно від частоти. Вхідний опір ВК дорівнює хвильовому опору кабелю та опору навантаження за увімкнення кабелю на узгоджене навантаження. Якщо вхідний опір фільтра ФП або вхідний опір АУ не дорівнюють хвильовому опору кабелю, то виникає відбиття хвиль від краю кабелю і в ньому виникають *стоячі хвилі*, які обумовлюють додаткові втрати енергії у кабелі.

За ВК, як правило, використовують радіочастотні коаксиальні кабелі типу РК з хвильовим опором 50, 75, 100, 150, 200 Ом та діаметром внутрішньої жили не меншим за 1 мм.

7.1.2. Високочастотний загороджувач

Високочастотний загороджувач (ВЧЗ на рис. 7.1.2) призначений для ослаблення впливу шунтуючої дії шин підстанцій 6 - 35 кВ на параметри ВЧ тракту. Крім того, ВЧЗ застосовують для ослаблення шунтуючої дії відгалужень при заземленні лінії електропередавання під час ремонтних робіт. Високочастотний загороджувач врізають в робочий дріт ЛЕП між шинами підстанції і точкою підключення конденсатора зв'язку (див. рис. 7.1.2).

Високочастотний загороджувач містить реактор індуктивністю L та елемент налаштування ЕН (рис. 7.1.5).

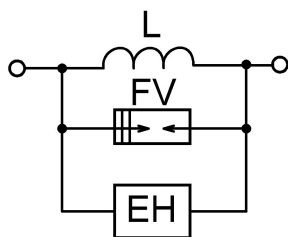


Рисунок 7.1.5 – Схема високочастотного загороджувача

Реактори розрізняють за значеннями індуктивностей L і номінального робочого струму промислової частоти, які вказують у найменуванні типу загороджувача. Наприклад, загороджувач ВЗ-600-0,6 розрахований на максимальний робочий струм 600 А і має індуктивність реактора $L = 0,6$ мГн.

Основною характеристикою ВЧЗ є смуга загородження – така смуга частот, у межах якої опір загороджувача не нижчий за певне значення. До основних характеристик ВЧЗ належить також внесене ним загасання. Загасання, що внесене загороджувачем – це величина, яка дорівнює десятиємному логарифму відношення потужності P_1 , що надходить на вхід лінійного тракту при відключенні гілки з ВЧЗ, до потужності P_2 , що надходить у лінію при реальному загороджувачі.

Протікання струму короткого замикання через загороджувач обумовлює перенапругу на ньому. Крім того, загороджувач піддається впливу імпульсів перенапруги, що виникають у ЛЕП при ударах блискавки, наведених атмосферних зарядах тощо. Амплітуда імпульсів перенапруги може в 3-5 разів перевищувати фазну напругу ЛЕП. Імпульс, що надходить, розподіляється між загороджувачами і вхідним опором підстанції. Якщо вхідний опір підстанції досить малий, то майже вся напруга прикладається до загороджувача.

Основним засобом захисту від перенапруг є вентиляний розрядник FV , що включають паралельно до реактора (рис. 7.1.5). Розрядник захищає не тільки деталі елемента налаштування EH , але й реактор – це має велике значення, тому що в разі відсутності розрядника, при короткому замиканні на лінії поблизу загороджувача, може виникнути пробій між витками реактора, який перейде в силову дугу від струму короткого замикання. Це призводить до руйнації обмотки реактора.

Загороджувачі різняться за видами налагодження, основні з яких: резонансне одно- і двочастотне; резонансне притуплене і широкосмугове (рис. 7.1.6).

Резонансне одночастотне налагодження (рис. 7.1.6 а) – за якого реактор L налагоджують з допомогою конденсатора C (чи магазину конденсаторів) у схемі паралельного резонансного контуру на одну частоту, яка дорівнює середній частоті робочої смуги ВЧ каналу.

Резонансне двочастотне налагодження – таке, за якого реактор L налагоджують на дві резонансні частоти; у цьому випадку загороджувач загороджує дві смуги частот, ширина яких менша, ніж при одночастотному налагодженні на будь-яку з цих двох частот. Принципову схему даного загороджувача зображено на рис. 7.1.6, б. У цій схемі два резонансних контури L_1C_1 і L_2C_2 налагоджують на верхню резонансну частоту.

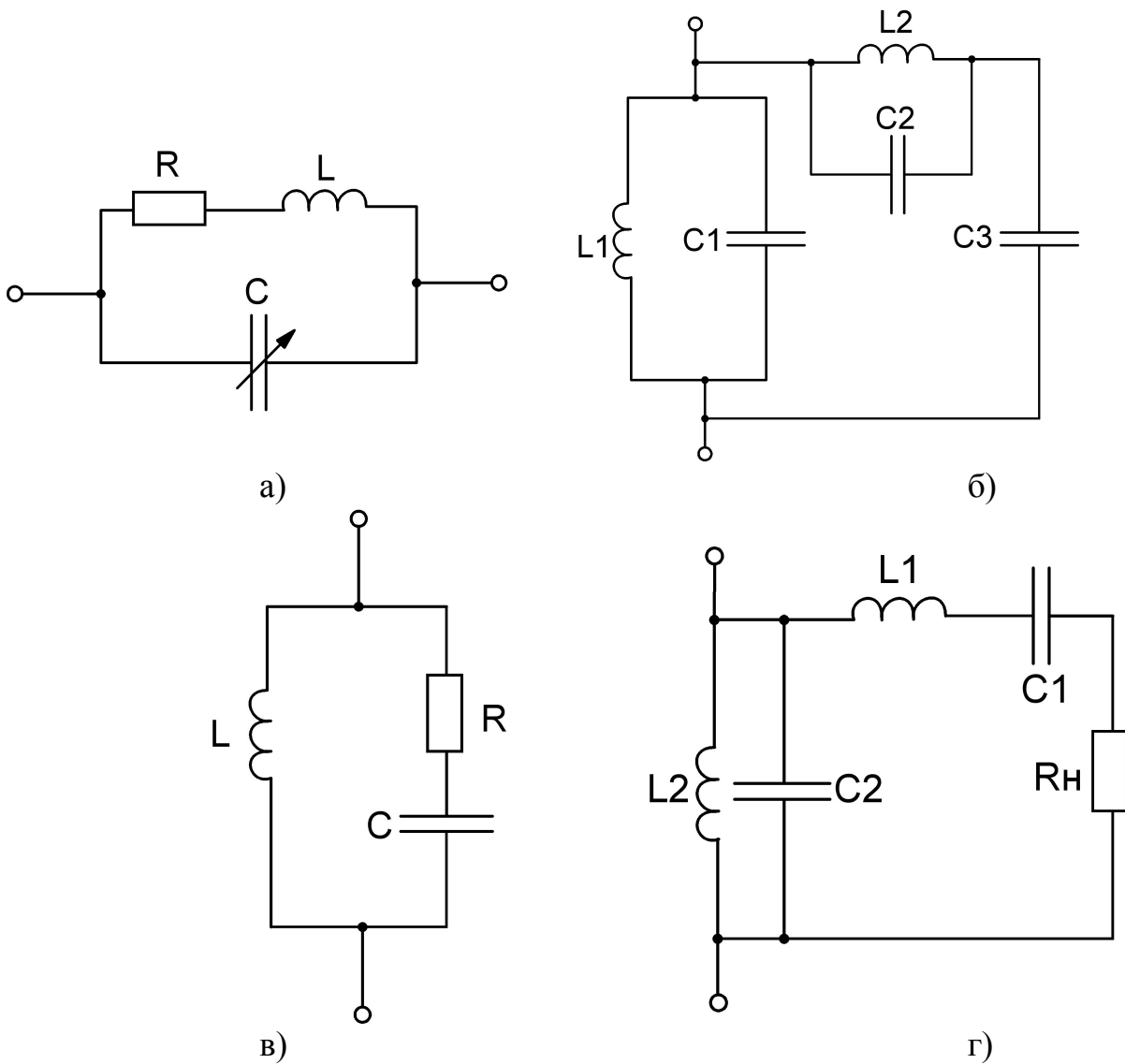


Рисунок 7.1.6 – Типи налагоджувальних схем ВЧЗ: а) - резонансне одночастотне; б) - резонансне двочастотне; в) - резонансне притуплене; г) - широкосмугове налагодження

На нижній резонансній частоті кожний із зазначених контурів має характер індуктивного опору. Тому за допомогою конденсатора C_3 загороджувач налагоджують на нижню резонансну частоту.

Резонансне притуплене налагодження відрізняється від одночастотного або двочастотного тим, що в резонансні контури схем вводять резистори для розширення смуги частот, що загороджуються. На рис. 7.1.6 в зображено схему одночастотного притупленого налагодження (R – резистор, що притуплює пік резонансної кривої).

Широкосмугове налагодження (рис. 7.1.6 г) забезпечує приблизно постійне значення опору, що загороджує, у певному діапазоні частот. Опір R_H є опором навантаження і дорівнює характеристичному опору загороджувача в заданому діапазоні частот.

Промисловість випускає загороджувачі, які призначені для роботи в розподільних мережах 6 -110 кВ. Кожний із загороджувачів має дві модифікації: *H* – низькочастотну та *B* – високочастотну.

Як загороджувач також можна використовувати петлю, утворену з лінійних дротів ЛЕП. Якщо довжина петлі дорівнює одній чверті довжини хвилі ВЧ сигналу, то її вхідний опір є достатньо великим. Загороджувач у вигляді петлі є зручним при обробці ВЧ сигналів зв'язку по ізолюваних дротах розщеплених фаз.

7.2. Схеми приєднання до дротів ЛЕП

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

7.2.1. Високочастотні тракти по фазних проводах

Найбільше поширення одержала схема "фаза-земля" (рис. 7.2.1.1), у якій апаратуру включено між фазним проводом та землею. Схема є найпростішою та економічною: у кожному пункті встановлюють лише один комплект пристроїв приєднання та обробки. Кінцеві загасання не перевищують 2,5 дБ та не знижують якості передавання.

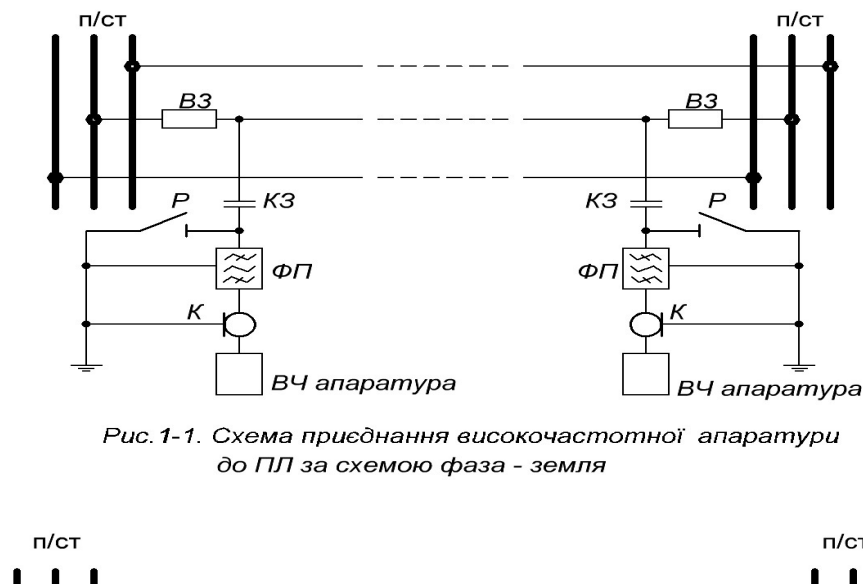


Рис. 1-1. Схема приєднання високочастотної апаратури до ПЛ за схемою фаза - земля

Рисунок 7.2.1.1 - Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою «фаза-земля»

Рідше (звичайно по ПЛ-500 кВ) застосовують схему "фаза-фаза"(рис. 7.2.1.2). Схема має трохи менше загасання в порівнянні зі схемою "фаза-земля", дозволяє знизити загасання лінійного тракту на ПЛ із відгалуженнями та ВЧ обходами, має більш рівномірну характеристику вхідного опору. Застосування схеми "фаза-фаза" підвищує надійність ВЧ тракту при коротких замиканнях на

ПЛ. Іноді застосовують схему "фаза-фаза" різних ПЛ. На нетранспонованих ПЛ-330 кВ із горизонтальним розташуванням проводів іноді застосовують схему "фаза-земля" з приєднанням передавача та приймача до різних фаз (рис. 7.2.1.3). На транспонованих ПЛ-750 кВ застосовують схему "фаза-середня-земля з обох кінців ПЛ" (рис. 7.2.1.4).

Рис. 1-1. Схема приєднання високочастотної апаратури до ПЛ за схемою фаза - земля

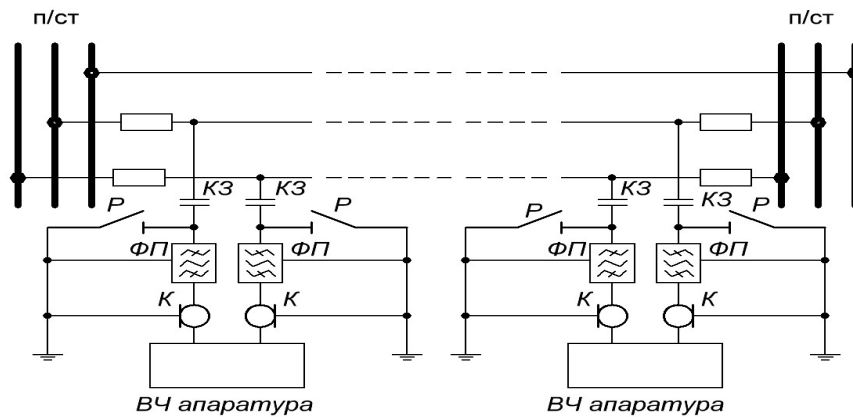


Рис. 1-2. Схема приєднання високочастотної апаратури

Рисунок 7.2.1.2 - Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою «фаза-фаза»

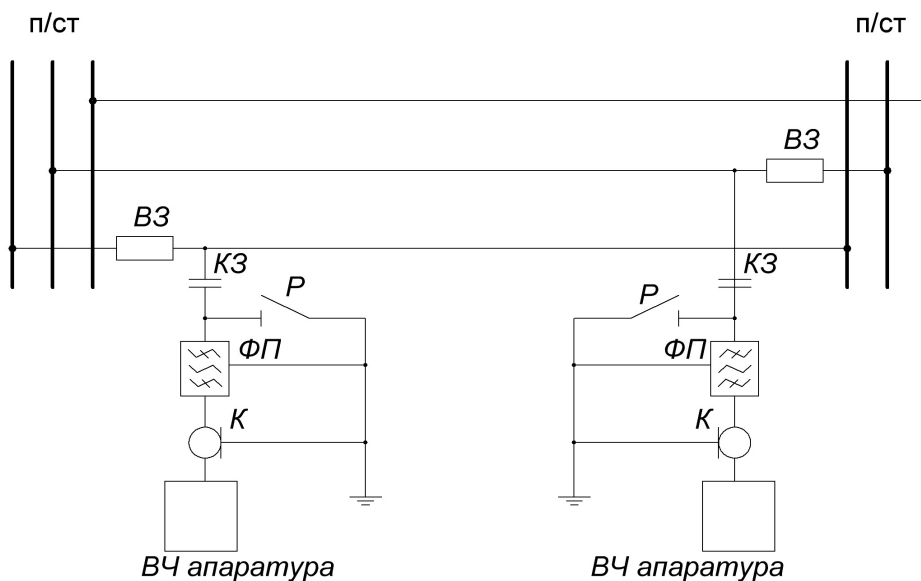


Рис 1-5. Схема приєднання високочастотної апаратури

Рисунок 7.2.1.3 - Приєднання приймача й передавача до різних фаз ПЛ за схемою «фаза-земля»

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

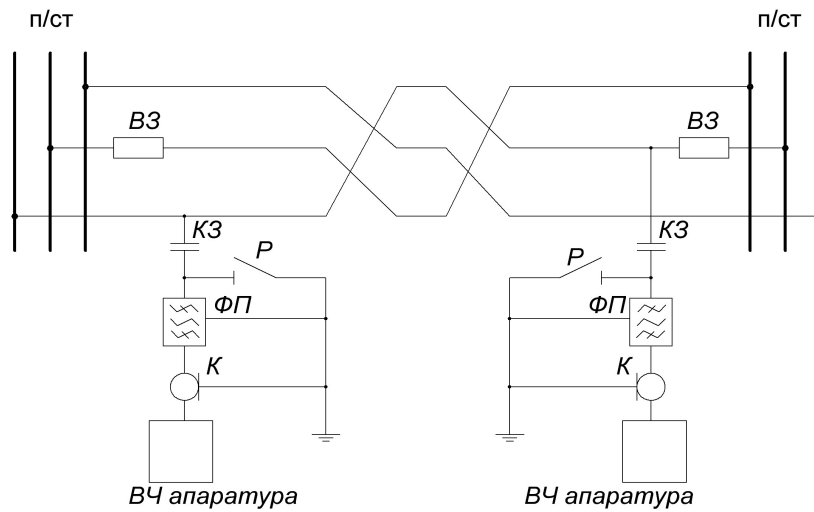


Рис. 1.4. Схема приєднання однофазної апаратури

Рисунок 7.2.1.4 - Приєднання приймача й передавача до різних фаз транспонованої ПЛ за схемою "фаза-середня-земля з обох кінців ПЛ"

7.2.2. Схема "провід-провід" розщепленої фази

Схему "провід-провід" розщепленої фази (рис.7.2.2.1, 7.2.2.2) звичайно застосовують на ПЛ-330 кВ, рідше на ПЛ-500 кВ. Основними перевагами схеми є: висока заводозахищеність від джерел завад, що перебувають поза розщепленою фазою; мале кілометричне загасання; рівномірна характеристика вхідного опору. Основний недолік - різке збільшення загасання тракту при ожеледі на дротах ПЛ.

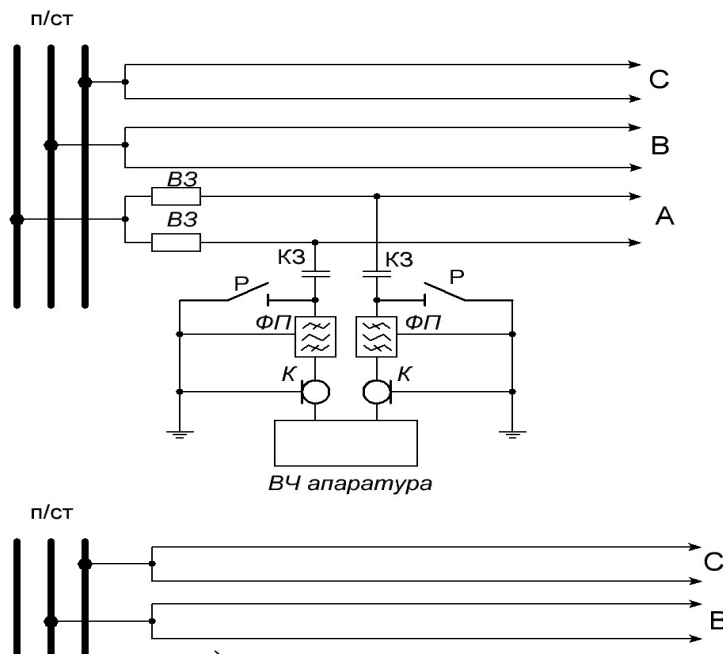


Рисунок 7.2.2.1 - Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою "провід-провід" розщепленої фази з однофазними фільтрами ФП

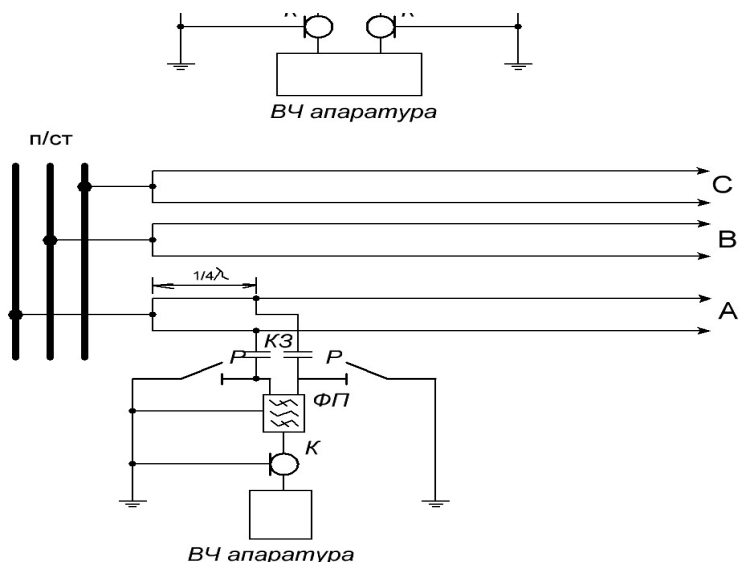


Рис. 1-7. Схема приєднання високочастотної апаратури

Рисунок 7.2.2.2 - Приєднання ВЧ апаратури до ПЛ за схемою "провід-провід" розщепленої фази з двофазним ФП та використання петлі дровів розщепленої фази у якості ВЧ загороджувача

7.2.3. Високочастотні тракти по грозозахисних тросах

Застосовують схеми: "трос-земля" (рис. 7.2.3.1), "два троси-земля" та "трос-трос". Всі ці схеми мають приблизно однакові високочастотні параметри і тому частіше застосовують найпростішу схему "трос-земля". Перевагою трактів по грозозахисних тросах є простота пристрою проміжних підсилювачів, порівняно недороге устаткування пристроїв обробки та приєднання. На ПЛ-750 застосовують схему "трос-трос" розщепленого грозозахисного троса. Схема має переваги трактів "провід-провід" розщепленої фази й трактів по провідних тросах, має низький рівень завад.

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

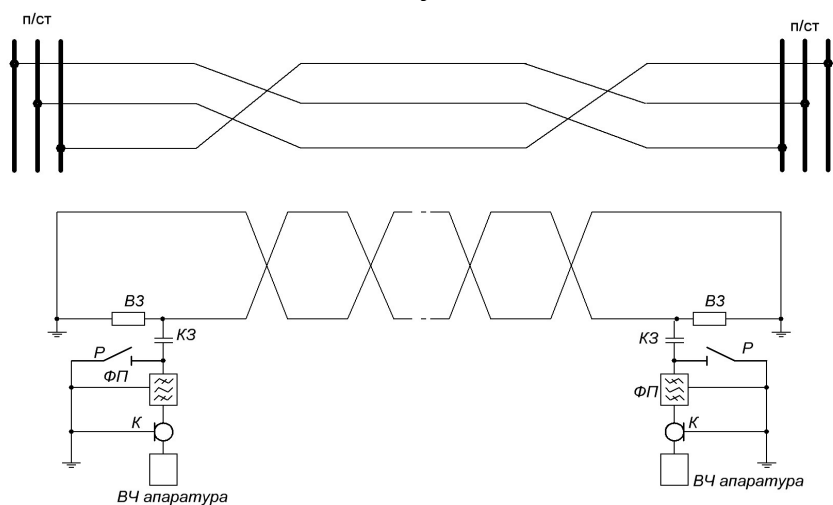


Рисунок 7.2.3.1 - Приєднання ВЧ апаратури до тракту "трос-земля"

7.2.4. Вибір частот для каналів ВЧ зв'язку

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

Для вибору частот необхідні наступні вихідні дані:

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

Вибір частот здійснюють наступним чином:

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

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

7.3.1. Визначення найбільшої можливої частоти

Значення найбільшої можливої частоти визначають найбільшим можливим кілометровим загасанням:

$$\alpha_{(\phi)\max} = \frac{A_{\text{ПЕР}} - a_{\text{ЕЛ}} - A_{\text{ЗАП}}}{l}, \quad (7.3.1.1)$$

де $A_{\text{ПЕР}}$ - загасання, що перекриває ВЧ апаратура, дБ; $a_{\text{ЕЛ}}$ - загасання всіх елементів ВЧ тракту, крім загасання міжфазної хвилі, дБ; $A_{\text{ЗАП}}$ - запас по загасанню на випадок збільшення загасання ВЧ тракту від ожеледі й коротких замикань на ПЛ або збільшення завад від корони за несприятливих погодних умов, дБ; l - довжина лінії електропередавання, км.

У табл. 7.3.1.1 наведено перелік рисунків, за якими визначають f_{\max} .

Таблиця 7.3.1.1 – Перелік рисунків, за якими визначають f_{\max}

Напряга ПЛ, кВ; Схеми транспозиції	Розташування фаз	Схема приєднання апаратури	№ рисунка для визначення f_{max}	Частотний діапазон, кГц
35	будь-яке	До будь-якої фази	7.3.1.1	18-600
110-500 Нетранспоновані	Горизон- тальне	Середня фаза- земля	7.3.1.1 -7.3.1.5	400-600
110-220 Нетранспоновані	Горизон- тальне	крайня фаза- земля	7.3.1.6 -7.3.1.7	Область частот I за рис. 2-8, 2-9.
110-500 транспонована	Горизон- тальне	фаза-земля	7.3.1.10- 7.3.1.12	Розрахункова частота не вища за значення на рис. 2-10, 2-11, 2-12 для даної довжини ПЛ
330-500 Нетранспоновані й транспоновані	будь-яке	провід-провід розщепленої фази (внутрішньо- фазний тракт)	7.3.1.13	
500 й 750 транспоновані	будь-яке	Трос-земля, два троси-земля, трос-трос	7.3.1.14	

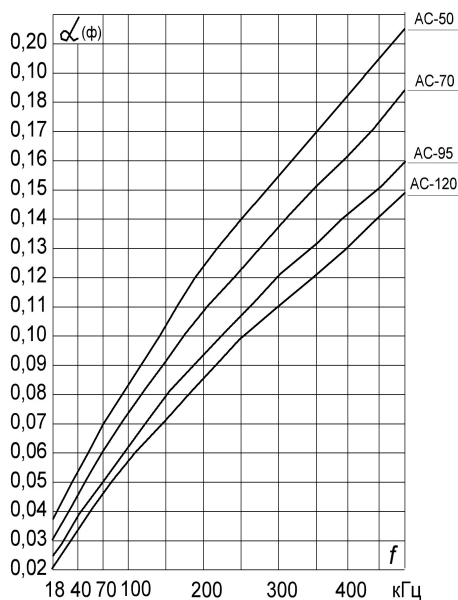


Рис 2-1 Кілометричне затухання

Рисунок 7.3.1.1 –
Кілометричне загасання
симетричної лінії ПЛ 35 кВ

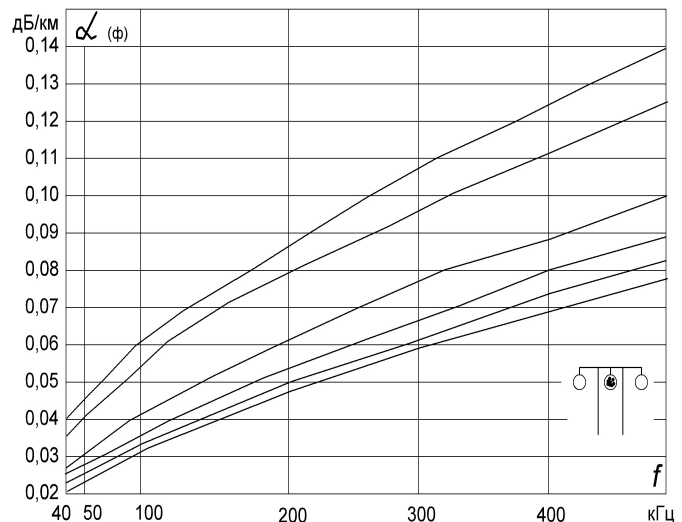


Рис.2-2. Кілометричне затухання міжфазної хвилі

Рисунок 7.3.1.2 – Кілометричне
загасання між фазної хвилі для середньої
фази нетранспонованої ПЛ 110 кВ з
горизонтальним розташуванням фаз

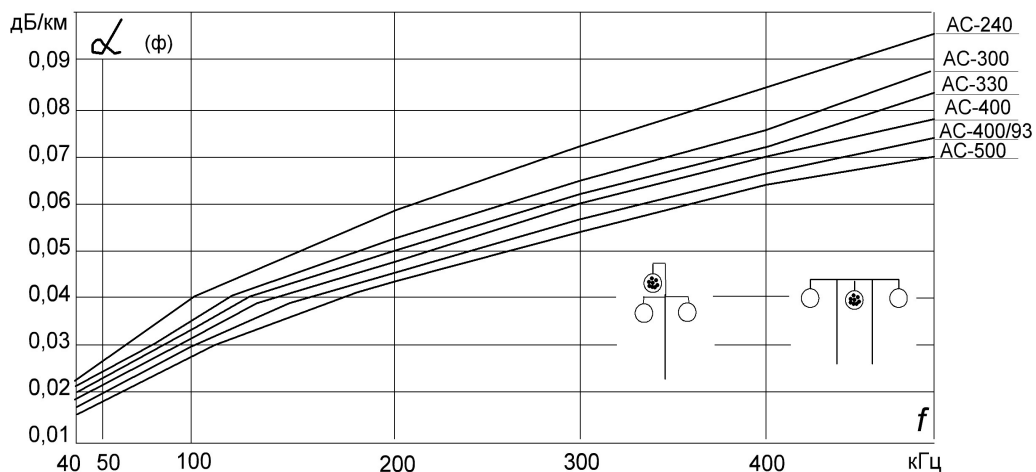


Рис.2-3. Кілометричне затухання міжфазної хвилі

Рисунок 7.3.1.3 – Кілометричне загасання міжфазної хвилі для середньої фази нетранспонованої ПЛ 220 кВ з горизонтальним розташуванням фаз та для верхньої фази з трикутним розташуванням фаз

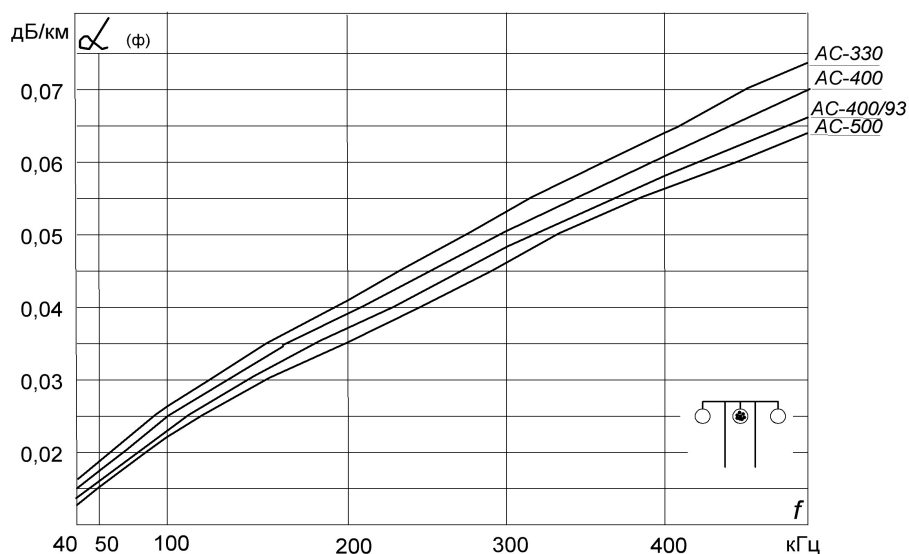


Рисунок 7.3.1.4 – Кілометричне загасання міжфазної хвилі для середньої фази нетранспонованої ПЛ 330 кВ з горизонтальним розташуванням фаз

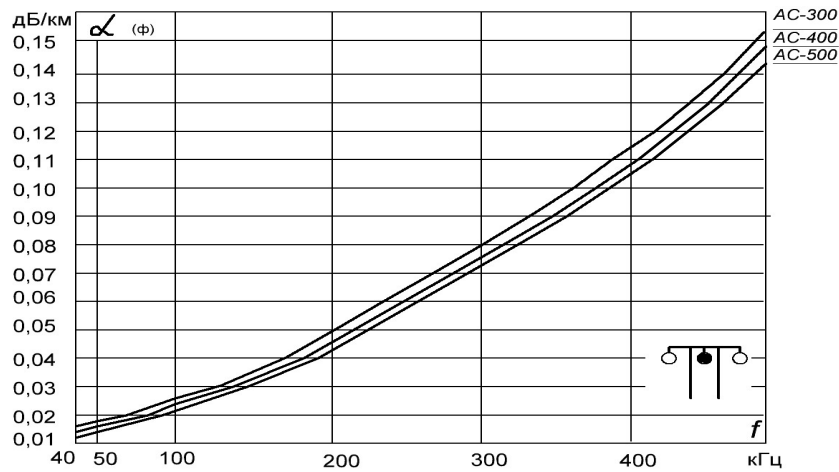


Рис.2-5. Кілометричне згасання міжфазної хвилі для середньої фази нетранспортованої ПЛ 500кВ з горизонтальним розположенням фаз

Рисунок 7.3.1.5 – Кілометричне загасання міжфазної хвилі для середньої фази нетранспортованої ПЛ 500 кВ з горизонтальним розташуванням фаз

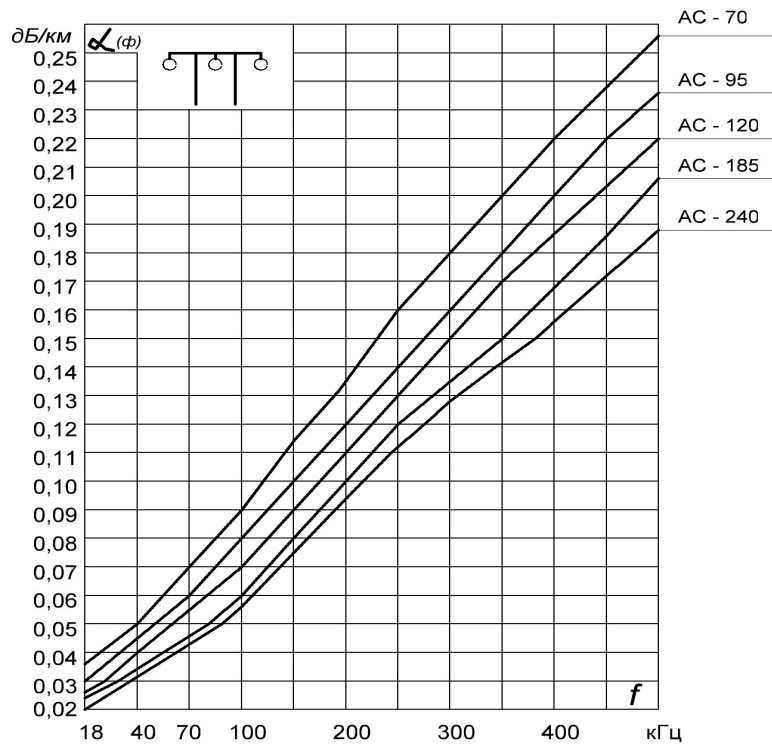


Рис. 2-6 Кілометричне згасання

Рисунок 7.3.1.6 – Кілометричне загасання симетричної ПЛ 500 кВ з горизонтальним розташуванням фаз

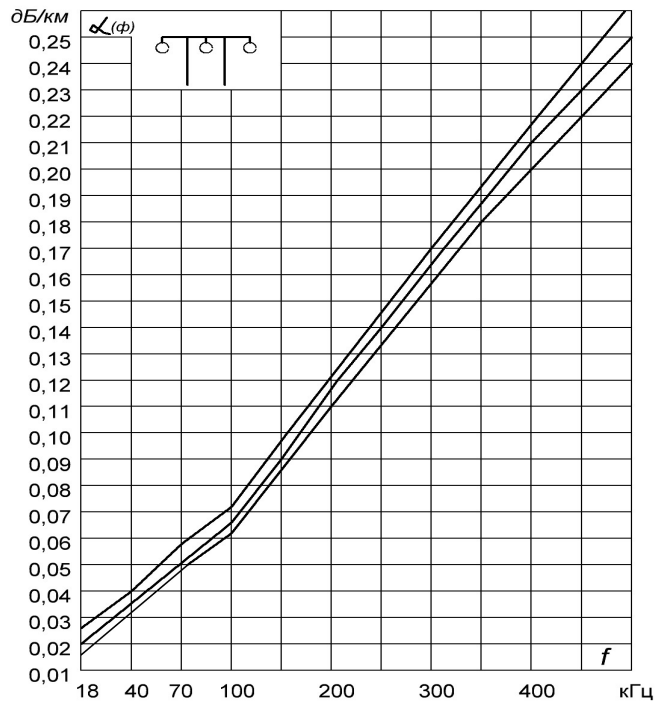


Рис. 2-7 Километричне затування

Рисунок 7.3.1.7 – Кілометричне загасання симетричної ПЛ 220 кВ з горизонтальним розташуванням фаз

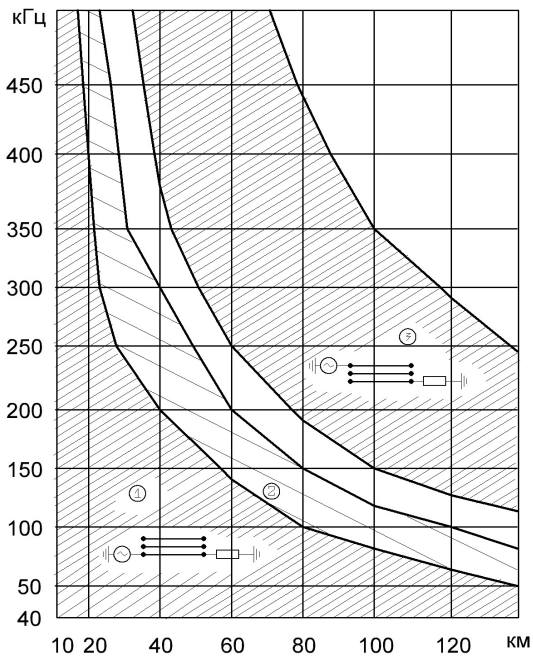


Рис. 2-8 Области частот, в яких

Рисунок 7.3.1.8 – Области частот, в яких допустима робота ВЧ каналів по крайнім фазам нетранспортованої ПЛ 110 кВ з горизонтальним розташуванням фаз

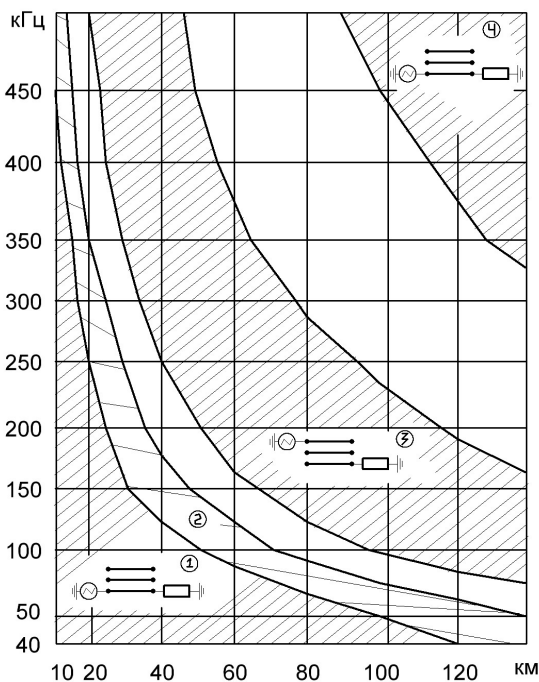


Рисунок 7.3.1.9 – Области частот, в яких допустима робота ВЧ каналів по крайнім фазам нетранспонованої ПЛ 220 кВ з горизонтальним розташуванням фаз

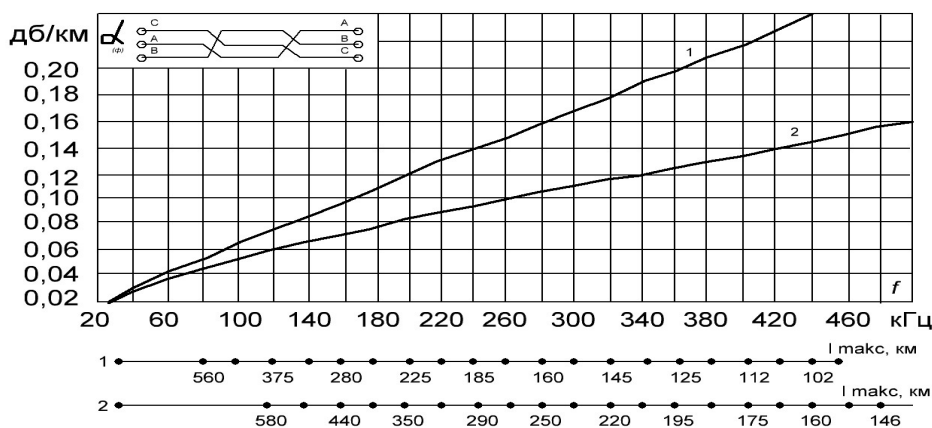


Рис 2-10 Кілометричне затухання лінійного тракту

по транспонованій ПЛ 220 кВ з горизонтальним розположенням фаз :

1 - з'єднання фаза С - земля ;

Рисунок 7.3.1.10 – Кілометричне загасання лінійного тракту симетричної по транспонованій ПЛ 220 кВ з горизонтальним розташуванням фаз: 1 – з'єднання «фаза С – земля»; 2 – з'єднання «фаза А – земля», «фаза В – земля».

Примітка: за віссю L_{MAX} визначають максимально допустиму довжину ПЛ за відповідної частоти по осі f .

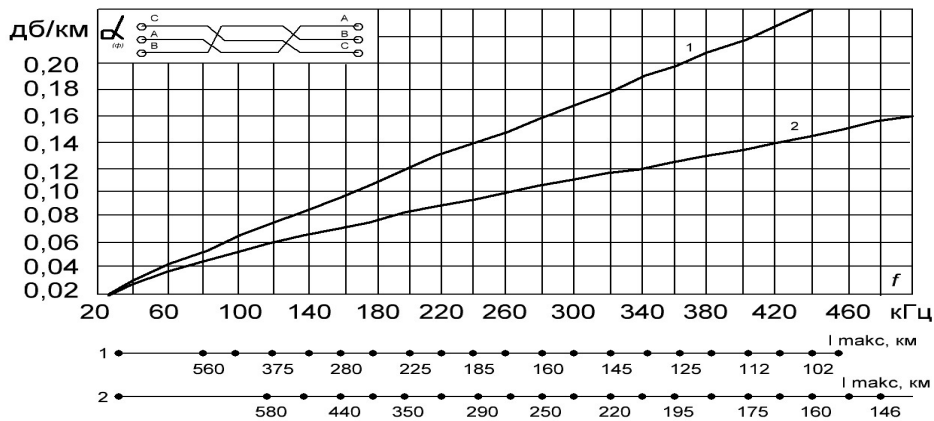


Рис 2-10 Кілометричне затухання лінійного тракту
по транспонованій ПЛ 220 кВ з горизонтальним
розположенням фаз :
1 - з'єднання фаза С - земля ;

Рисунок 7.3.1.11 – Кілометричне загасання лінійного тракту по транспонованій ПЛ 220 кВ з горизонтальним розташуванням фаз: 1 – з'єднання «фаза С - земля»; 2 – з'єднання «фаза А – земля», «фаза В – земля».

Примітка: за віссю L_{MAX} визначають максимально допустиму довжину ПЛ для відповідної частоти по осі f

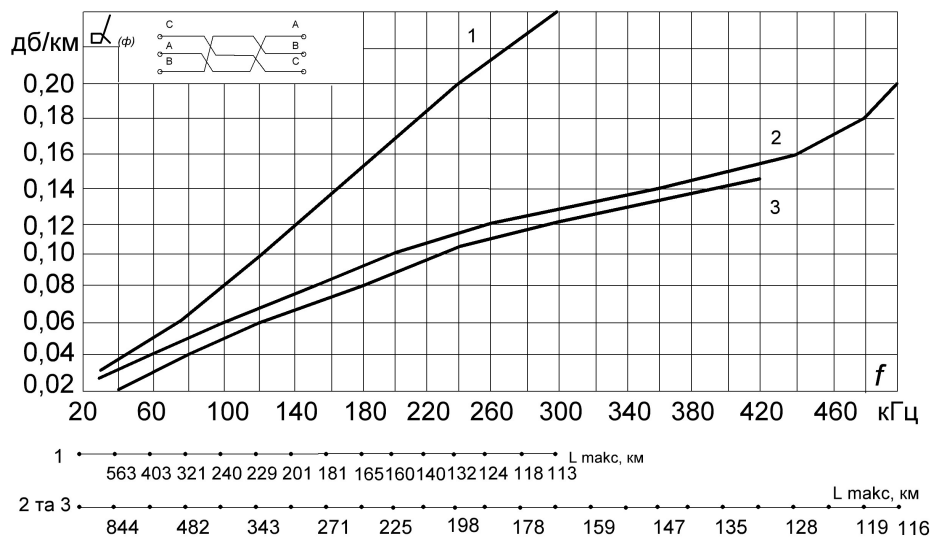


Рис 2-11 Кілометричне затухання лінійного тракту
по транспонованій ПЛ 330 кВ з горизонтальним
розположенням фаз :

Рисунок 7.3.1.12 – Кілометричне загасання лінійного тракту по транспонованій ПЛ 330 кВ з горизонтальним розташуванням фаз: 1 – з'єднання «фаза С - земля»; 2 – з'єднання «фаза А - земля», «фаза В - земля»; 3 – приєднання "середня фаза - земля з обох кінців ПЛ"

Примітка: за віссю L_{MAX} визначають максимально допустиму довжину ПЛ для відповідної частоти по осі f

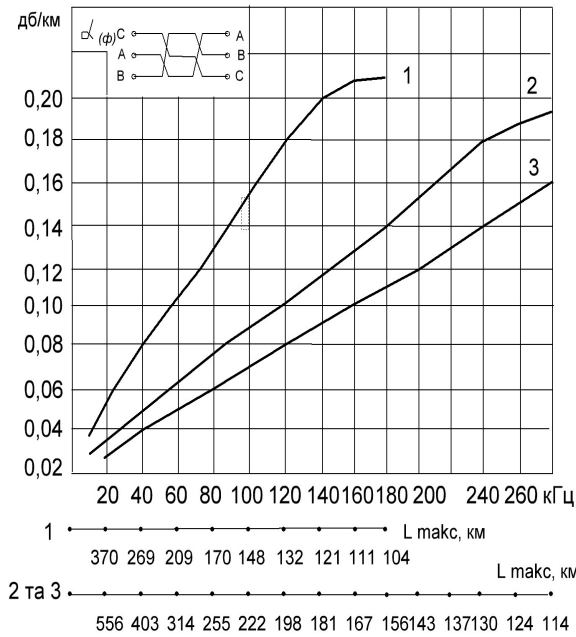


Рис 2-12 Километричне затушення лінійного тракту по транспонованій ПЛ 500 кВ з горизонтальним

Рисунок 7.3.1.13 – Кілометричне загасання тракту по транспонованій ПЛ 500 кВ з горизонтальним розташуванням фаз: 1 – з'єднання «фаза С - земля»; 2 – з'єднання «фаза А - земля», «фаза В - земля»; 3 – приєднання "середня фаза - земля з обох кінців ПЛ"

Примітка: за віссю L_{MAX} визначають максимально допустиму довжину ПЛ для відповідної частоти по осі f

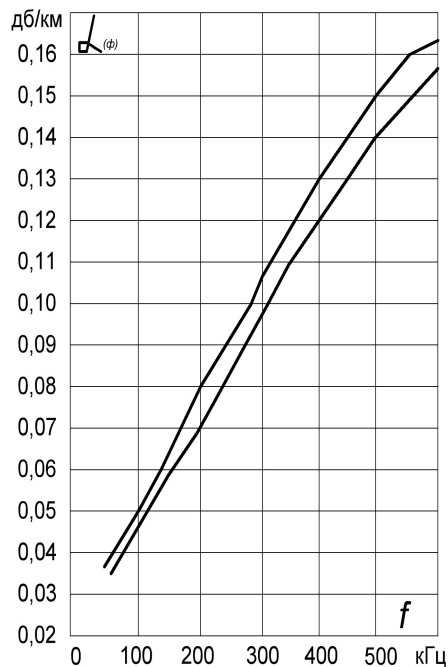


Рис. 2 - 13. Кілометричне затушення

Рисунок 7.3.1.14 – Кілометричне загасання внутрішньофазного тракту (з'єднання «провід - провід розщепленої фази»)

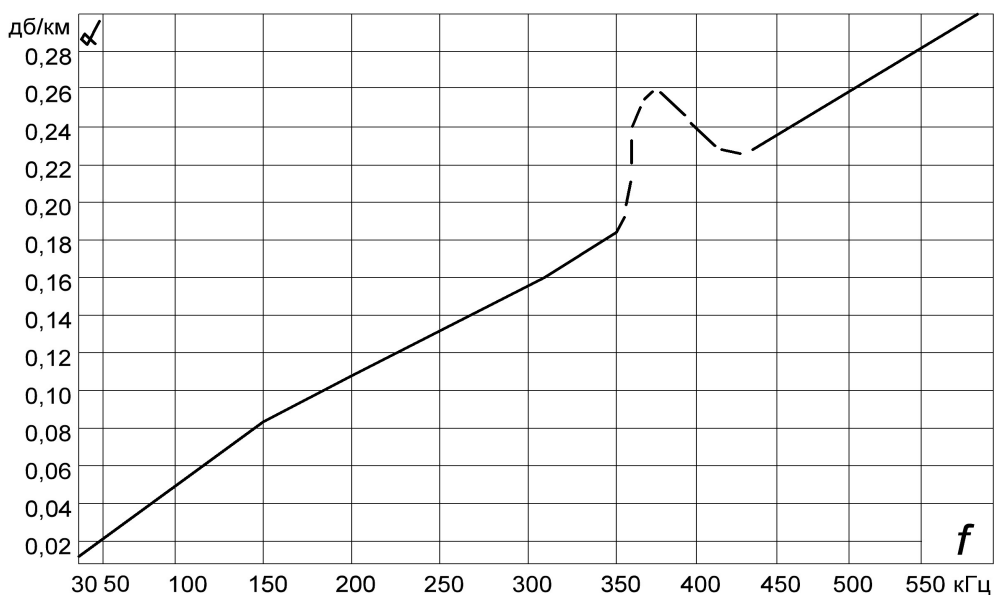


Рис. 2 - 14. Кілометричне затухання біметалевих грозозахистних тросів.

Рисунок 7.3.1.15 – Кілометричне загасання біметалевих грозозахисних тросів: схеми підключення «трос - трос», «трос - земля»

Примітка: пунктиром показано область резонансного збільшення загасання на ПЛ 500-750 кВ

Загасання, які перекриває ВЧ апаратура, визначають за формулою, дБ:

$$A_{ПЕР} = P_{ПЕР} - P_{ПР.МІН}, \quad (7.3.1.2)$$

де $P_{ПЕР}$ - рівень передавання сигналу, дБ; $P_{ПР.МІН}$ - мінімальний рівень прийому в каналі, дБ.

Мінімальний рівень прийому для ВЧ каналів телемеханіки визначають залежно від середнього рівня розподілених завад на лінії в точці підключення до ПЛ пристрою приєднання, дБ:

$$P_{ПР.МІН} = P_{НОМ} + 10 \cdot \lg \Delta f + \Delta P_{НОМ}^* + P_{С/Р} + \Delta P_{ПРОМ}, \quad (7.3.1.3)$$

де $P_{НОМ}$ - середній рівень завад від корони на фазних проводах ЛЕП, дБ, (табл. 7.3.1.2); Δf - смуга ефективно переданих частот каналу, кГц; $\Delta P_{НОМ}^*$ - поправка, що враховує зміну середнього рівня завад для ВЧ трактів по грозозахисних тросах і схемі "провід-провід" розщепленої фази, дБ, (табл. 7.3.1.3); $P_{С/Р}$ - мінімальна різниця сигналу й розподіленої завади на вході приймача, визначають в точці підключення до ЛЕП пристрою приєднання, дБ, (табл. 7.3.1.4); $\Delta P_{ПРОМ}$ - поправка, що враховує підсумовування розподілених завад у каналах із проміжними підсилювачами, визначають за формулою, дБ:

$$\Delta P_{ПРОМ} = 10 \cdot \lg(m + 1), \quad (7.3.1.4)$$

де m - число проміжних підсилювачів.

Таблиця 7.3.1.2 – Середній рівень завад від корони на фазних проводах ЛЕП

Напруга, кВ	Число дротів	Середній рівень розподілених
-------------	--------------	------------------------------

	у фазі	завад у смузі 1 кГц, дБ
Повітряні лінії:		
35	1	45
110	1	-38
220	1	-28
330	1	-15
330	2	-30
500	3	-25
750	4 й 5	-20
Кабельні лінії:		
6 й 10	-	-43
35	-	-61

Таблиця 7.3.1.3 – Поправка, що враховує зміну середнього рівня завад для ВЧ трактів

Схема приєднання	$\Delta P^*_{НОМ}$, дБ
Трос-трос	-4,5
Трос-земля	-3
Два троси-земля	-1
провід-провід розщепленої середньої фази	-1,5

Таблиця 7.3.1.4 – Мінімальна різниця сигналу й розподіленої завади на вході приймача

Канал	Система передавання (модуляції)	$P_{C/P}$, дБ
Телефонного зв'язку	ОБП	26
Те ж	ЧМ	22
Телемеханіка для швидкості передавання 50 Бод	ЧМ-ОБП	18
Те ж для швидкості передавання 100, 200 й 300 Бод	ЧМ-ОБП	22

Загасання елементів ВЧ тракту $a_{ЕЛ}$ визначають з виразів:

- для ВЧ трактів по фазних проводах ПЛ

$$a_{ЕЛ} = n_1 a_k + n_2 \Delta a_{(0)} + 2n_1 a_3 + (2n_1 - 1) a_{ФП} + (m_1 - 1) a_{КАБ} + \sum a_{Ш} + m_2 a_{ПРОМ} + m_3 a_{РФ} + m_4 a_{ОТВ} + m_5 a_{РАД}. \quad (7.3.1.5)$$

де n_1 - кількість ПЛ у ВЧ тракті каналу; n_2 - кількість ПЛ коротших за 20 км у ВЧ тракті каналу; m - кількість елементів даного виду у ВЧ тракті каналу; a_k - крайні загасання двох кінців ПЛ, дБ; $\Delta a_{(0)}$ - поправка, що враховує збільшення загасання через вплив заземленої хвилі на ПЛ коротших за 20 км для схем приєднання фаза-земля; a_3 - загасання, внесене загороджувачем, дБ; $a_{ФП}$ -

загасання фільтра приєднання, дБ; $a_{КАБ}$ - загасання у ВЧ кабелі, що з'єднує ВЧ апаратуру з фільтром приєднання, дБ; $a_{Ш}$ - загасання, внесене паралельно включеною апаратурою інших ВЧ каналів на кінцевому пункті, дБ; $a_{ПРОМ}$ - загасання, внесене до транзитного каналу апаратурою ущільнення на проміжному пункті, підключеною до схеми ВЧ обходу, дБ; $a_{РФ}$ - загасання розподільчого фільтра, ураховується на передавальному кінці й у пункті ВЧ обходу, дБ; $a_{РАД}$ - загасання, обумовлене відгалуженням ВЧ енергії до інших ВЧ трактів за радіально-променевої схеми каналу, дБ.

Для ВЧ трактів по грозозахисних тросах $a_{ЕЛ}$ визначають за наступною формулою:

$$a_{ЕЛ} = a_k + 2a_3 + a_{ФП} + a_{КАБ} + m_2 a_{Ш} + m_4 a_{РФ} + m_7 a_{ШД} + m_8 a_{ТРАНС.Т} + m_9 a_{ТРАНС.ВЛ} \quad (7.3.1.5)$$

де $a_{ТРАНС.Т}$ - загасання, внесене транспозицією на тросах у ВЧ тракт по грозозахисних тросах, дБ; $a_{ТРАНС.ВЛ}$ - загасання, внесене транспозицією фазних проводів у ВЧ тракт по грозозахисних тросах, дБ; $a_{ШД}$ - загасання, внесене ВЧ дроселем, шунтуючим триси, дБ.

Значення загасання елементів ВЧ тракту, наведених у формулах (7.3.1.5) та (7.3.1.6), наведені в табл. 7.3.1.5.

Значення $A_{ЗАП}$ приймають залежно від призначення каналу й району по ожеледі, у якому проходить траса ПЛ.

Для розрахунках ВЧ каналів телемеханіки $A_{ЗАП}$ визначають за формулою:

$$A_{ЗАП} = \Delta a_{ГОЛ f}, \quad (7.3.1.6)$$

де $\Delta a_{ГОЛ f}$ – приріст загасання лінійного тракту через ожеледь на розрахунковій частоті f .

Таблиця 7.3.1.5 – Значення загасання елементів ВЧ тракту

Схема приєднання ВЧ апаратури	Значення a_{EL} , дБ															
	a_k		$a_{ТГІ}$	$\Delta a^{(0)}$	a_3	$a_{ФП}$	$a_{КАБ}$	$a_{Ш}$	$a_{ПРОМ}$	$a_{РФ}$	$a_{ОТВ}$ для зв'язку		$a_{ТРАНС ПЛ}$	$a_{ТРАНС Т}$	$a_{ШД}$	$a_{РАД}$
	ПЛ на одноланцюгових опорах	ПЛ на двухланцюгових опорах									Не використуване	Використуване				
Фаза-земля	2,5	1,0	3,0	2,0	3,0	1,5	0,5	1,0	3,5	1,0	5,5	7,0	-	-	-	10
Фаза-земля	0	0	0	0	3,0	1,5	0,5	1,0	3,5	1,0	3,0	5,0	-	-	-	10
Провід-провід Розщепленої фази	0	0	0	0	1,0	1,5	0,5	1,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
Трос-земля	7,0	-	0	0	-	1,5	1,0	1,0	-	1,0	-	-	1,0	0	1,0	-
Два троси-земля	2,0	-	0	0	-	1,5	1,0	1,0	-	1,0	-	-	1,0	0	1,0	-
Трос-трос	1,0	-	0	0	-	1,5	1,0	1,0	-	1,0	-	-	1,0	1,3	1,0	-

Для тракту, організованого за схемою фаза-земля:

$$\Delta a_{ГОЛ f} = \frac{12,6 \cdot M \cdot l}{Z \cdot p} \cdot \lg \left[1 + \frac{d}{r} \right], \quad (7.3.1.7)$$

де l - довжина ділянки лінії з ожеледдю, приймають 30 км; p - кількість проводів у розщепленій фазі, $p = 1, 2, 3, 4$ відповідно для ПЛ 35 ÷ 220; 330; 500 й 700 кВ; Z - еквівалентний опір міжфазній хвилі, приймають 390, 320, 290, 250 відповідно для ПЛ 35 ÷ 220, 330, 500, 750 кВ; d - товщина ожеледі на проводах ПЛ, приймають 0,5; 1 і 1,5 см відповідно для I-II, III й IV району по ожеледі; r - радіус провoda, см; M - коефіцієнт, що характеризує високочастотні параметри ожеледі:

$$M = \frac{f \cdot \operatorname{tg} \delta}{\varepsilon (1 + \operatorname{tg}^2 \delta)}, \quad (7.3.1.8)$$

де $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon'''}{\varepsilon''}$; ε'' - дійсна частина комплексної величини діелектричної проникності льоду; ε''' - уявна частина комплексної величини діелектричної проникності льоду:

$$\varepsilon'' = \frac{\varepsilon^C + \varepsilon^0 k^2 f^2}{1 + k^2 f^2}, \quad (7.3.1.9)$$

$$\varepsilon''' = \frac{(\varepsilon^C + \varepsilon^0) k f}{1 + k^2 f^2}. \quad (7.3.1.10)$$

де ε^C - статична діелектрична проникність льоду, $\varepsilon^C = 74,6$; ε^0 - оптична діелектрична проникність льоду, $\varepsilon^0 = 3$; $K = K_0 \cdot e^{-\xi t}$, K_0 , ξ - емпіричні коефіцієнти, $K_0 = 1,16 \cdot 10^{-4} [c]$, $\xi = 0,101 [^{\circ}c]^{-1}$, t - температура льоду [$^{\circ}C$].

Для тракту "провід-провід" розщепленої фази й "трос-трос" розщепленого грозозахисного тросу:

$$\Delta a_{ГОЛ f} = \frac{3,4 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot Z}{\lg \frac{D}{d+r}} \cdot \lg \left[1 + \frac{d}{r} \right], \quad (7.3.1.11)$$

де D - відстань між проводами розщепленого троса, або розщепленої фази, см; Z - хвильовий опір тракту "провід-провід" або "трос-трос" $Z = 120 \cdot \ln \frac{D}{r}$.

Всі інші позначення в (7.3.1.10) ті самі, що й в (7.3.1.11).

8. ЕЛЕМЕНТИ ТА ВУЗЛИ ПРИСТРОЇВ ТЕЛЕМЕХАНІКИ

8.1. Класифікація елементів

Будь-яка система або пристрій автоматики та телемеханіки виконується з цілого ряду вузлів, блоків чи субблоків, що збираються з певних елементів.

Елемент перетворює вплив, яке він отримав від попереднього елемента або вузла та передає до наступного елемента або вузла. Якщо для такого перетворення на елемент подається додаткова енергія, то за певних умов він може здійснити й підсилення поданого впливу.

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

Всі основні елементи можна поділити на три групи:

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

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

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

8.2. Електромагнітне реле

Електромагнітне реле – це комутаційний пристрій для перемикання електричних ланцюгів електромагнітним полем; застосовується в схемах автоматики, телемеханіки, керування електроприводами, електроенергетичними і технологічними установками, в системах контролю. Реле електромагнітне дозволяє регулювати напруги і струми, виконувати функції запам'ятовуючих та перетворюючих пристроїв, фіксувати відхилення параметрів від заданих значень тощо.

До специфічних властивостей електромагнітних реле відносять:

- майже повну відсутність гальванічного зв'язку між вхідними та вихідними ланцюгами;
- незначні втрати потужності в контактному переході;
- велике значення відношення опорів контакту у розімкнутому та замкнутому станах, незалежно від дії електричних та магнітних кіл;
- нечутливість до температурних перевантажень тощо.

Електромагнітне реле, принцип дії якого є загальними для будь-якого типу, складається з основи (1), якоря (2), котушки з витків дроту (3) та рухливих і закріплених контактів (4). Усі деталі кріпляться на основі (рис.8.2.1). Якір виконаний з можливістю повороту і утримується пружиною. Коли на обмотку котушки подається напруга, за її виткам протікає електричний струм, створюючи електромагнітні сили в осерді. Вони притягують якір, який повертається і замикає рухливі контакти з парними нерухомими. У випадку вимкнення струму якір повертається пружиною назад. Разом з ним переміщуються рухомі контакти. Від типової конструкції відрізняються тільки герконові реле, де контакти, осердя, якір і пружина поєднані в одній парі електродів.

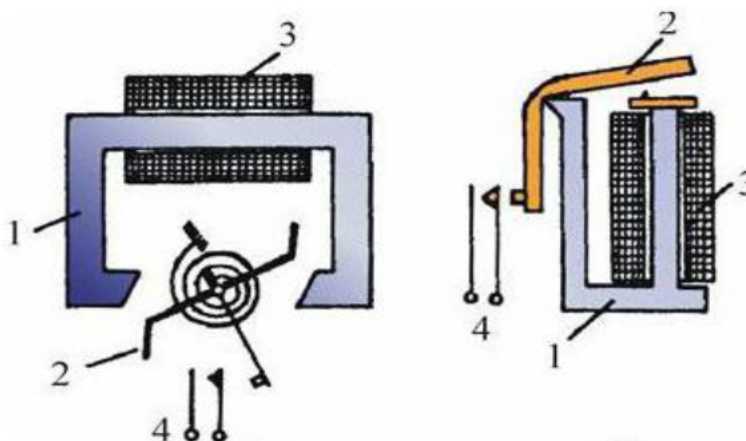


Рисунок 8.2.1 – Електромагнітне реле

Електрична схема електромагнітного реле (рис. 8.2.2) ілюструє, як електрична енергія перетворюється в магнітну, яка потім долає зусилля пружини й переміщує контакти. Електричні ланцюга котушки і комутації нічим не пов'язані. За рахунок цього незначні струми можуть керувати великими. В результаті реле електромагнітне є підсилювачем струму або напруги. Функціонально воно включає три основні елементи: сприймаючий, проміжний та виконавчий. Першим з них є обмотка, що створює електромагнітне поле. По ній проходить контрольований струм, за досягнення заданого порогового значення якого відбувається вплив на виконавчий елемент – електричні контакти, замикаючі або тих, що розмикають вихідну ланцюг.

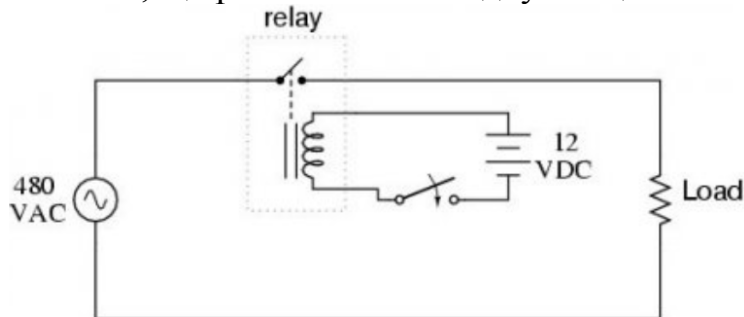


Рисунок 8.2.2 – Електрична схема електромагнітного реле

Основними типами контактних реле в телемеханіці є електромагнітні реле постійного струму РЭС та РЭН – реле електромагнітні нейтральнее (спрацьовує від будь-якої полярності струму). У виконавчих колах систем телемеханіки використовують реле типу РЭН, як потужніші.

8.3. Інтегральні мікросхеми. Логічні елементи. Тригери

Інтегральна мікросхема (англ. *integrated circuit*, IC) – мініатюрний мікроелектронний виріб, елементи якого нерозривно пов'язані конструктивно, технологічно та електрично. Виконує певні функції перетворення, оброблення сигналу, накопичення інформації та має високу щільність упакування електрично з'єднаних між собою елементів і компонентів, які є одним цілим з точки зору вимог до випробувань та експлуатації. Тобто, інтегральною мікросхемою (ІМС) називають сукупність електроелементів – транзисторів, діодів (активні елементи), резисторів, конденсаторів (пасивні елементи) та з'єднувальних провідників, електричнопов'язаних між собою і поєднані в одному корпусі.

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

- напівпровідникові мікросхеми (монолітні) – всі елементи і міжелементні з'єднання виконані на одному напівпровідниковому кристалі (наприклад, кремнії, германії, арсеніді галію, оксиді гафнію);

- плівкові інтегральні мікросхеми – всі елементи та міжелементні з'єднання виконані у вигляді плівок;

- гібридні мікросхеми (мікробірки) – крім напівпровідникового кристалу містить трохи безкорпусних діодів, транзисторів і (або) інших електронних компонентів, поміщених в один корпус.

За видом оброблюваної інформації – поділяють на цифрові та аналогові.

За ступенем інтеграції вирізняють:

– мала інтегральна схема (МІС) – до 100 елементів у кристалі,

– середня інтегральна схема (СІС) – до 1000 елементів в кристалі,

– велика інтегральна схема (ВІС) – до 10 тис. елементів в кристалі,

– надвелика інтегральна схема (НВІС, VLSI – англ. *very-large-scale integration*) – понад 10 тисяч елементів в кристалі.

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

Із розвитком електротехніки від механічних логічних елементів поступово перейшли до електромеханічних логічних елементів (на електромагнітних реле), а потім до електронних логічних елементів на електронних лампах, пізніше - на транзисторах. Після підтвердження в 1946 р.

теореми Джона фон Неймана про економічність показникових позиційних систем числення стало відомо про переваги двійкової та трійкової систем числення в порівнянні з десятковою системою числення. Від десяткових логічних елементів перейшли до двійкових логічних елементів. Двійковість та трійковість дозволяє значно скоротити кількість операцій і елементів, що виконують цю обробку, порівняно з десятковими логічними елементами.

Логічні елементи виконують логічну функцію (операцію) над вхідними сигналами (операндами, даними).

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

В арифметичних та логічних пристроях для збереження інформації найчастіше використовують тригери – пристрої з двома стійкими станами по виходу, які містять елементарну запам'ятовувальну комірку (бістабільна схема БС) і схему керування (СК). Схема керування перетворює інформацію, яка надходить, на комбінацію сигналів, що діють безпосередньо на входи елементарної запам'ятовувальної комірки. Для забезпечення надійного перемикавання в точках А для деяких тригерів повинні бути кола затримки. З цією метою можуть використовуватися запам'ятовувальні елементи на основі БС того ж типу, що вже є у тригері. Схему такого тригера називають схемою типу М-С (master-slave), оскільки стан однієї БС, яку називають веденою, повторює стан додаткової БС, яку називають ведучою.

Тригери широко використовуються для формування імпульсів, у генераторах одиничних сигналів, для побудови подільників частоти, лічильників, перерахункових пристроїв, регістрів, суматорів, у пристроях керування тощо.

У більшості серій інтегральних елементів містяться тригери різних типів, у тому числі універсальні.

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

За способом запису інформації тригери поділяють на несинхронізовані (асинхронні, нетактові) і синхронізовані (тактові).

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

За видом вихідних сигналів тригери поділяються на статичні (тригери, в яких вихідні сигнали в стійких станах залишаються незмінними в часі) і динамічні (тригери, в яких вихідні сигнали в стійких станах змінюються в часі).

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

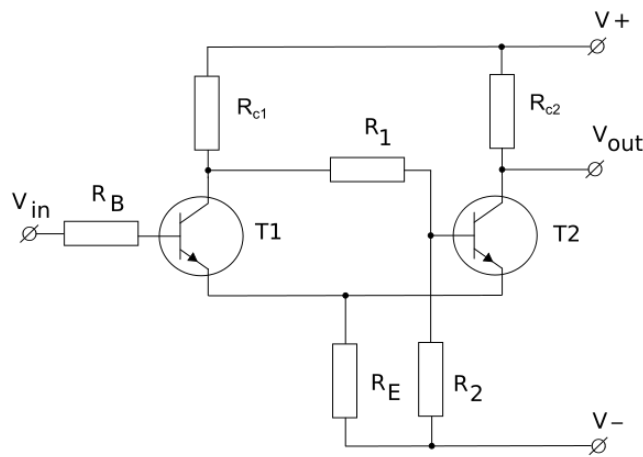


Рисунок 8.3.1 – Схема тригера на транзисторах

8.4. Дешифратори. Шифратори. Лічильники

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

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

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

Найпростіший дешифратор, виконаний на елементах І та НІ (рис. 8.4.1, а), називається лінійним. На рис. 8.4.1. б показано його умовне позначення. Найпростіший дешифратор має два входи і чотири виходи. У випадку, коли на входи нічого не подається (комбінація 00), з елемента І повинен бути знятий сигнал 1, а з інших виходів - сигнали 0.

Шифратор – пристрій, що перетворює код C_n^j в двійковий. Це означає, що шифратор виконує функції, зворотні дешифратору. Дійсно, якщо в дешифраторі сигнал подається на кілька входів і збуджує тільки один вихід, то в шифраторі сигнал надходить лише на один вхід, утворюючи двійкового коду на декількох виходах. Функціональна схема шифратора наведена на рис. 8.4.2.

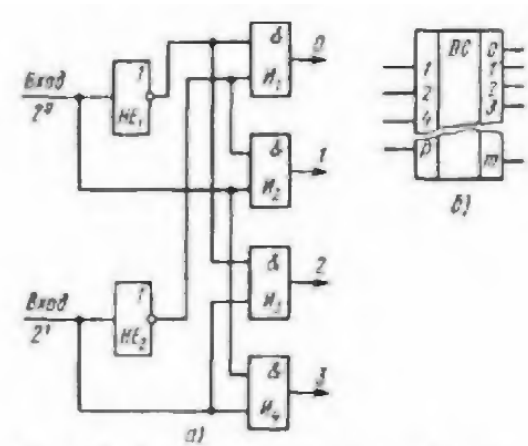


Рисунок 8.4.1 – Функціональна схема (а) та умовне позначення (б) лінійного дешифратора

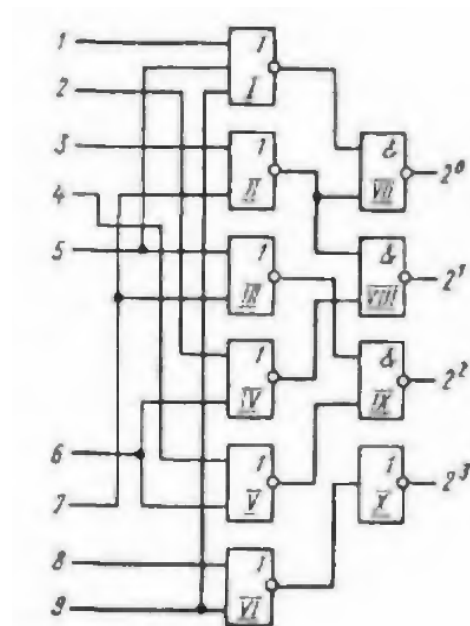


Рисунок 8.4.2 – Функціональна схема шифратора

Лічильник – пристрій, призначений для підрахунку імпульсів і широко використовуються під час побудови різних вузлів систем телемеханіки. Лічильники виконуються на тригерах і розрізняють – асинхронні (послідовні) і синхронні (паралельні). Асинхронні лічильники менш швидкодіючі, ніж синхронні, внаслідок того що в них тригери перемикаються по чергово, а в синхронних – одночасно. Функціональна схема асинхронного лічильника на рахункових тригерах наведена на рис. 8.4.3а, а часова діаграма його роботи - на рис. 8.4.3 в. На рис. 8.4.3 б наведено умовне позначення такого лічильника.

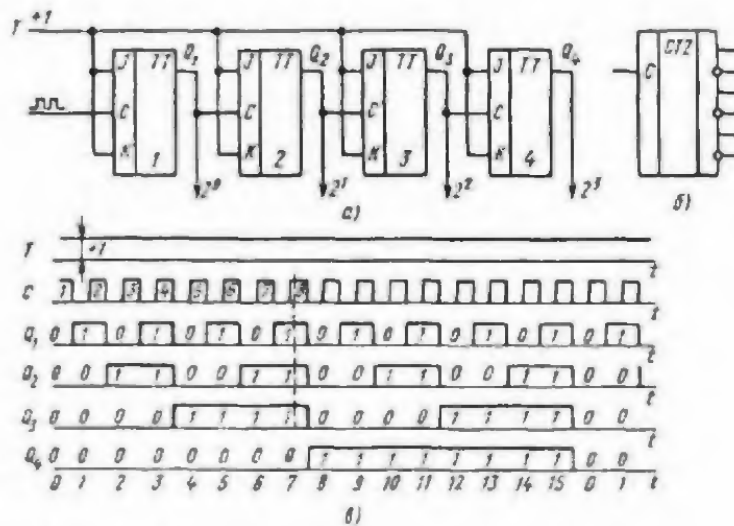


Рисунок 8.4.3 – Асинхронний двійковий лічильник: а) функціональна схема; б) умовне позначення; в) часова діаграма

8.5. Регістри, розподільники і комутатори

Ці функціональні вузли знайшли широке застосування під час побудови систем телемеханіки. Так, в переважній більшості сучасні систем телемеханіки використовується тимчасовий принцип поділу сигналів., що вимагає застосування розподільників. Комутатори широко використовують в системах телевимірювання для почергового під'єднання давачів вимірюваних величин до перетворювачів.

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

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

На рис.8.5.1.а представлена структурна схема, загальна як для регістра, так і для розподільника. Тут $Y_{c1}-Y_{cn}$ – комірки, або елементи, розподільника (регістра), в яких почергово записується інформація, що надходить на вхід. Просування записаної інформації з комірки в комірку здійснюється тактовими імпульсами за допомогою ланцюгів зв'язку ЦС.

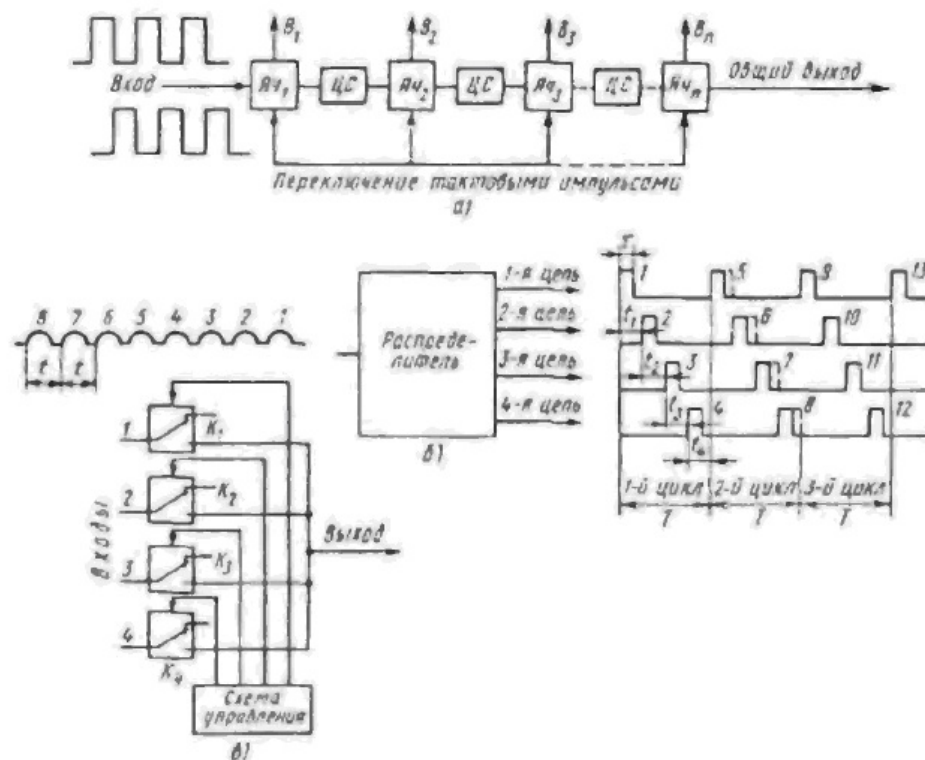


Рисунок 8.5.1 – Регістр, розподільник та комутатор: а) структурна схема регістра та розподільника; б) схема, що пояснює принцип дії розподільника; в) схема комутатора

Принцип дії розподільника ілюструється рис. 8.5.2 б. Розподільник розподіляє подану на його вхід послідовність імпульсів по чотирьом ланцюгах, хоча число ланцюгів може бути будь-яким. У кожному ланцюзі утворюється своя послідовність імпульсів з частотою, в чотири рази меншою частоти імпульсів на вході. Розподіл імпульсів по ланцюгам відбувається за час, що дорівнює циклу T . Тривалість циклу T розподіляється на інтервали $t_1 - t_n$ між ланцюгами ($T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$, причому, як правило, $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$) та визначається частотою проходження імпульсів і кількістю ланцюгів $T = nt$, де n – кількість ланцюгів, а t – тривалість, відведена для одного ланцюга.

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

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

Комутатором називається пристрій, призначений для вибору і під'єднання одного з багатьох входів (виходів) тільки до одного виходу (входу). Будь-який із ключів (рис. 8.5.1, е) може бути замкнений за вимогою зі схеми управління, під'єднуючи тим самим обраний вхідний ланцюг до виходу схеми. Схемою управління може бути регістр, розподільник, дешифратор або інший пристрій, що по чергово видає сигнали для під'єднання входів, число яких не обмежене.

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

8.6. Кодоперетворювачі. Компоратори. Частотні селектори

Кодоперетворювачами називають схеми або пристрої, що перетворюють один код в інший. Наприклад, на вхід кодоперетворювача, що має n входів, подається двійковий код, а з виходів кодоперетворювача, що має m виходів, знімається двійково-десятковий код. Залежно від кодів, що перетворюються кількість входів n може бути більше або менше кількості виходів m . Однак найчастіше перетворювачі застосовують для перетворення звичайних двійкових кодів в коригувальні коди і для зворотного перетворення цих кодів в двійкові або двійково-десяткові коди.

Тому, можна сказати, що дешифратори та лічильники є також кодоперетворювачами; перші перетворюють двійкового код, що подається на вхід у код C_n^j на виходах, а інші – послідовність імпульсів (одиничний код) в двійковий або інший код на виходах.

Функціональна схема перетворювача двійкового кода в код з парною кількістю одиниць наведено рис. 8.6.1.

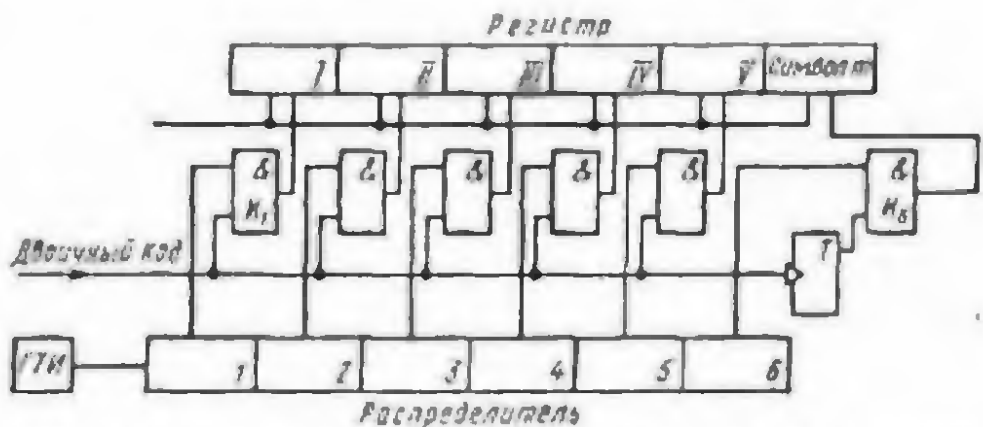


Рисунок 8.6.1 – Функціональна схема перетворювача двійкового кода в код з парною кількістю одиниць

Компаратори – пристрої, що дозволяють порівняти два струму або дві напруги та визначити знак різниці між ними. Структурна схема компаратора наведена на рис. 8.6.2 а.

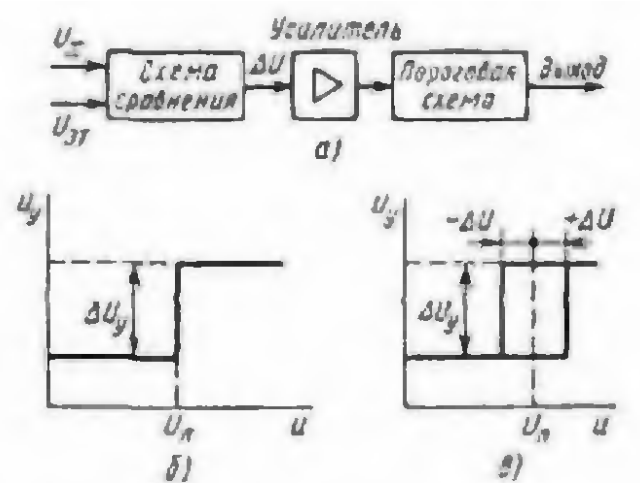


Рисунок 8.6.2 – Компаратор: а) структурна схема; б) ідеальна та в) реальна статичні характеристики

Тут U_X – вхідна напруга, яку необхідно порівняти з еталонним значенням напруги U_{ET} . Ідеальною характеристикою компаратора є характеристика типу релейної (рис. 8.6.2 б). Це означає, що у разі проходження напруги U_X через значення, що дорівнює U_{ET} , стрибкоподібно змінюється вихідне значення U_Y пристрою, що здійснює порівняння. Проте, параметри схеми порівняння змінюються, тому вона буде спрацьовувати не точно у випадку досягнення порогового значення еталонної величини $U_X = U_{п}$, а у разі $U_X = U_{п} \pm \Delta U$ (рис. 8.6.2 в).

Статична помилка компаратора ΔU обумовлюється головним чином дрейфом порога спрацювання, під яким розуміють повільне зміщення порогової характеристики внаслідок старіння або температурної нестабільності елементів порівняльного пристрою.

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

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

Електричні селектори (реле) складаються із резонансного контура або смугового фільтра і релейного елемента.

Одночастотні селектори (одиначні контури). Найпростіший селектор такого типу є частотним реле з послідовним електричним резонансним LC-контуром (рис. 8.6.3а). До індуктивності контуру через звичайний випрямляч під'єднується реле. На рис 8.6.3б той же контур приєднується до лінії зв'язку

через узгоджувальний трансформатор, а реле підключається через мостовий випрямляч.

Для таких схем потрібна значна потужність сигналу, що передається, оскільки реле вмикається не від місцевого джерела живлення, а за рахунок енергії сигналу.

Застосування транзистора T в якості підсилювального елемента підвищує можливості схеми (рис. 8.6.3б) Можна обійтися і без трансформатора Tr , ввімкнувши реле P замість обмотки ω_1 .

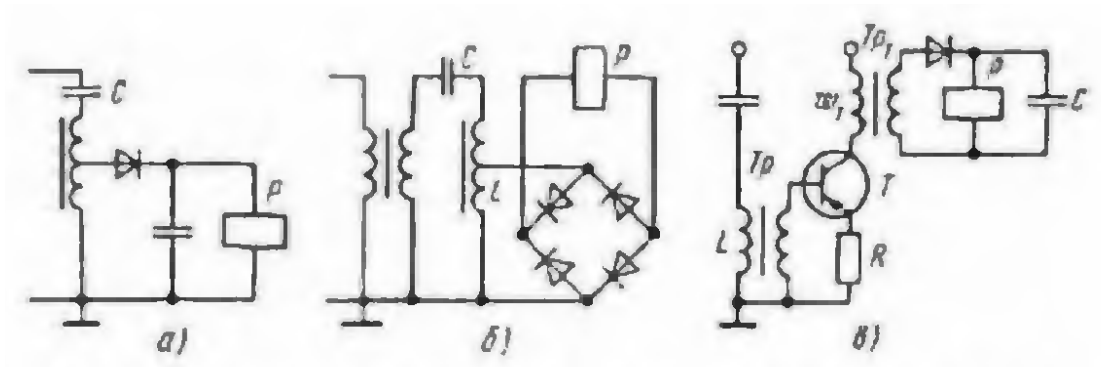


Рисунок 8.6.3 – Принципові схеми одночастотних селекторів з послідовним контуром: а) з однонапівперіодним випрямлячем; б) з двопозиційним випрямлячем; в) з транзистором

9. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Автоматизована система (АС) – це сукупність апаратних (технічних) та програмних засобів, що виконують цільові завдання під керуванням людини. Автоматичною системою керує алгоритм без участі людини.

Загальні характеристики АС:

- призначення;
- структура;
- надійність і безпека;
- показники призначення й функціональність;
- режим експлуатації;
- захист інформації;
- захист технічних засобів;
- рівень стандартизації й уніфікації.

Життєвий цикл АС:

- проектування;
- впровадження;
- чисельність і кваліфікація обслуговуючого персоналу;
- розробка/адаптація апаратури й програмного забезпечення,
- поставка, монтаж, пусконаладження системи,
- випробування системи і дослідна й експлуатація;
- промислова експлуатація, протягом якої виконується модернізація.

Види забезпечення:

- технічне;
- інформаційне;
- програмне;
- лінгвістичне;
- математичне;
- організаційне;
- метрологічне;
- методичне.

Основні діючі нормативи:

- ГОСТ 34.xxx на автоматизовані системи;
- ГОСТ 2.xxx — єдина система конструкторської документації

(ЄСКД);

- ГОСТ 19.xxx — система програмної, експлуатаційної документації;
- Концепція побудови АСКОЕ в умовах енергоринку, інструкція про

порядок комерційного обліку;

- Стандарти ІЕС 61870 (телемеханіка, облік, мікропроцесорні системи РЗА), ІЕС 61850 (системи зв'язку на ПС);

- МЕК 61970-301 & 61968-11: Common Information Model (Загальна Інформаційна Модель). Стандарт МЕК 61970-301 є семантичною моделлю, яка описує компоненти енергосистеми на електричному рівні, а так само зв'язки між компонентами. Стандарт МЕК 61968-11 розширює цю модель для покриття інших аспектів обміну даними, таких як відстеження майна, планування роботи та виставлення рахунків споживачам. Ці два стандарти, 61970-301 і 61968-11 разом відомі як Common Information Model (СІМ) для енергосистем і в даний час мають два основних використання: полегшення обміну даними про енергосистемі між енергокомпаніями; забезпечення можливості обміну даними між додатками

всередині компанії.

- нормативна документація щодо технічного захисту інформації (НД ТЗІ).

9.1. Автоматизовані системи управління ТП ПС та мікропроцесорне устаткування

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

- поточні значення електричних величин, що характеризують основну трифазну мережу змінного струму - напруг, струмів, потужностей, частоти, а також показники якості електричної енергії;
- поточні значення величин, що характеризують допоміжні мережі об'єкту;
- електричні параметри мережі власних потреб і мережі постійного струму, параметри мережі повітряприготування;
- поточні значення теплотехнічних та інших величин на електростанціях, що характеризують процес генерації електроенергії - тиск та температуру газу, пари, води або інших теплоносіїв;
- осцилограми перехідних процесів - наприклад, коротких замикань у мережі;
- положення електричних комутаційних апаратів, стану пристроїв захисту та автоматики, клапанів, вентилів;
- параметри, що характеризують кліматичні обставини на об'єкті - температуру й тиск повітря, швидкість вітру;
- діагностичні параметри, що характеризують стан устаткування - наприклад, кількість відключень вимикачів, тангенс кута діелектричних втрат в ізоляції.

Традиційно питання дистанційного контролю та управління вирішувалось засобами.

Телемеханіка - сукупність засобів передавання (до 90-х років минулого століття - також відображення) поточних параметрів технологічного процесу на більші відстані. Пристрій верхнього рівня, що забезпечує збір даних з ПС, називається пунктом управління (ПУ) або центральною приймально-передавальною станцією (ЦППС), пристрій на підстанції, що збирає дані від датчиків та вимірювальних перетворювачів і передає їх до ПУ — контрольований пункт (КП). Канали зв'язку між КП і ПУ можуть бути дротяними (наприклад, на базі телефонної мережі) або бездротяними (радіоканал, GSM, GPRS, супутникові канали). Типи сигналів:

- ТС – телесигнал (двійковий типу «ТАК/НІ»);

- ТВ, ТВП – телевимірювання (поточне), кодують 8- або 16-розрядним цілим числом;
- ТВІ – телевимірювання інтегральне (приймає імпульси від лічильників, кожен імпульс відповідає визначеній кількості кВт·годин електроенергії);
- ТУ – телеуправління виконавчими механізмами («Вмикнути» / «Вимкнути»);
- ТР – телерегулювання (плавне або багатопозиційне керування).

Способи обміну між ПК та КП: опитування, циклічне передавання та спорадичне (за зміною значення сигналу) передавання.

Способи кодування й захисту даних визначає телемеханічний протокол. Раніше кожен розробник комплексів телемеханіки розробляв свій власний протокол зв'язку. Приклади таких, досить розповсюджених систем:

- УТС-8, УТК-1, ВРТФ-3 — найбільш примітивні системи з жорстко визначеною кількістю сигналів;
- КОМПАС, ТМ-512, ТМ-120, ТМ-320, Граніт, ТМ-800В — більш досконалі модульні пристрої з 8-розрядними АЦП;
- МКТ-2, МКТ-3, ТМ-800А – теж саме, використовують на ПС 330 кВ для роботи в циклічному режимі;
- Корунд-М/КА-96, Спрут/КОТ — сучасні вітчизняні системи з підтримкою МЕК-870-5-101 та 12-розрядними АЦП.

Класифікацію систем телемеханіки наведено на рис. 9.1.1.

Вимірювання всіх цих величин виконують за допомогою вимірювальних перетворювачів. Сучасні перетворювачі є цифровими, вони вимірюють вхідний сигнал і перетворюють його у цифрову форму за допомогою власних аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

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

Представлена на рис. 9.2.1 структурна схема являє приклад реалізації КТЗ АСДУ ПС на базі універсального контрольованого пункту телемеханіки (УКП ТМ) «Корунд-М» та цифрових вимірювальних перетворювачів, що підтримують цифровий інтерфейс RS-485 та протокол Modbus.

УКП телемеханіки має модульну структуру, містить модулі: центрального процесора (МЦП), живлення (МЖ), телесигналізації (МТС), сполучення із ВЧ-каналами телемеханіки та підключення цифрових вимірювальних перетворювачів (МКА), телевимірювань інтегральних (МТВІ) і поточних (МТВП), телеуправління (МТУ).

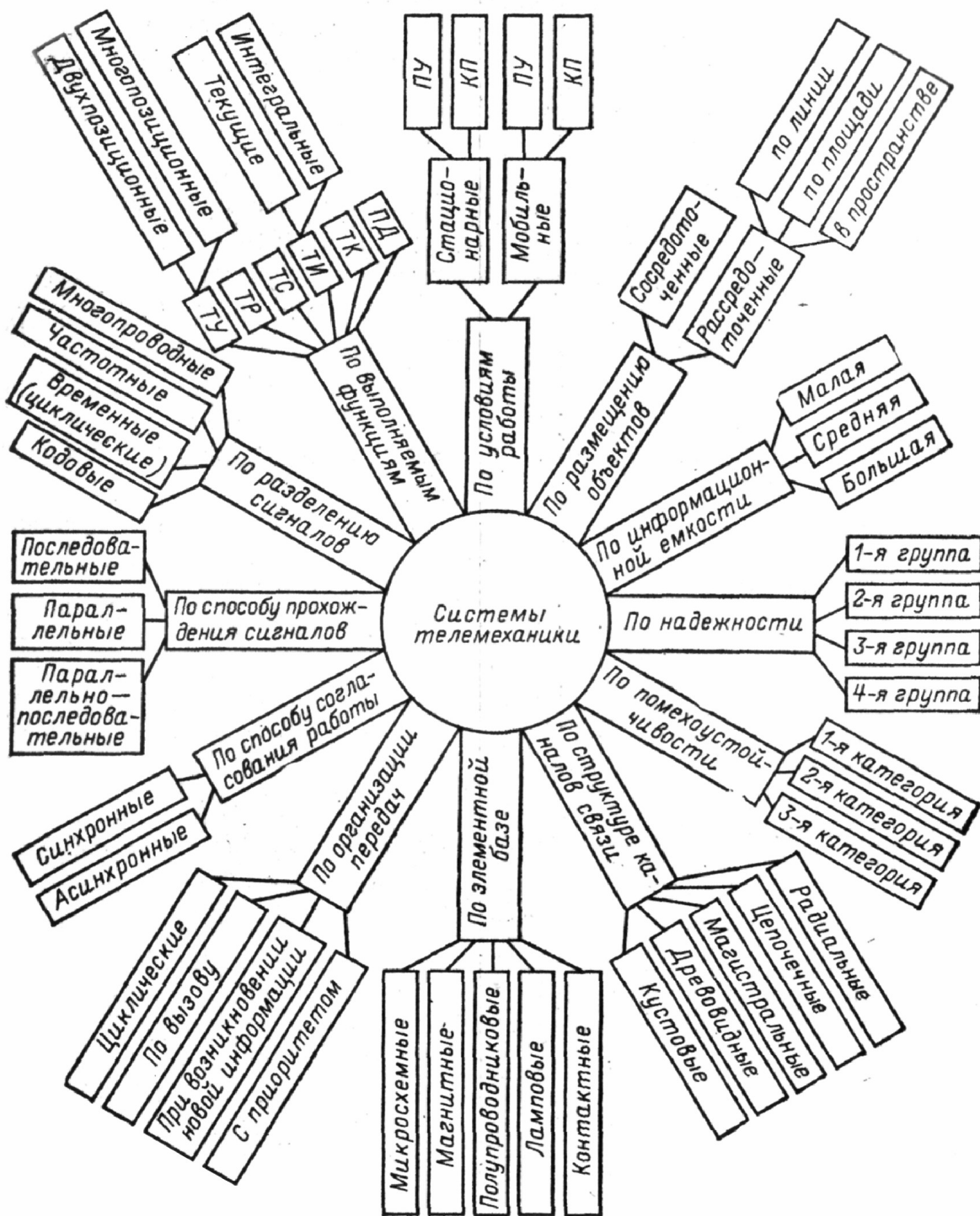


Рисунок 9.1.1 – Традиційна класифікація систем телемеханіки

Для захисту УКП від завад по вимірювальним ланцюгам служить шафа захистів. Вимоги до телевимірювань визначають використання цифрових вимірювальних перетворювачів (ЦВП), що підключають до УКП за допомогою вузла комунікацій КП. Досить розповсюджені ЦВП багатьох виробників мають модифікації, що забезпечують технічний облік електроенергії. ЦВП з'єднують між собою шиною RS-485 (число пристроїв визначається необхідним періодом опитування й може становити від 5 пристроїв для приєднань 220-750 кВ до 3 пристроїв для приєднань 6-10 кВ). Типова схема передбачає підключення 40 ЦВП

по 8 каналам RS-485. Вузол комунікацій також забезпечує обмін інформацією з верхнім рівнем по швидкісним телемеханічним каналам (основному й резервному).

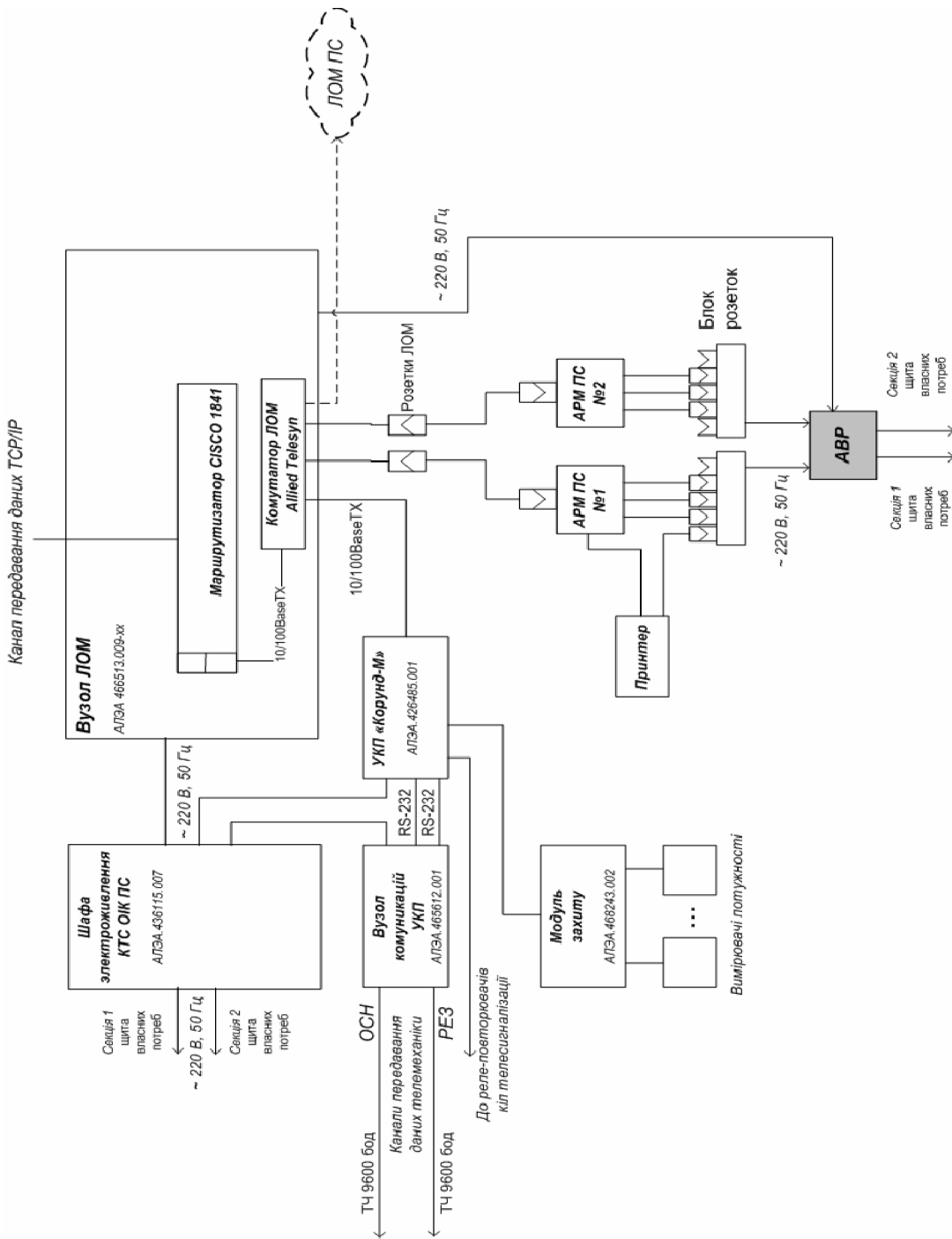


Рисунок 9.2 – Структурна схема комплексу технічних засобів

Необхідна від КТЗ підтримка телемеханічних низкошвидкісних ВЧ-каналів реалізується безпосередньо в КП, при цьому використовують існуючі телемеханічні модеми (ТТ-144, АПСТ-М тощо).

Автоматизація роботи чергового електромонтера (диспетчера) підстанції включає як відображення поточної схеми комутації й значень ТВ на мнемосхеми ПС, так і роботу із заявками, бланками перемикачів і паспортних даних уста- ткування ПС, що вимагає інтенсивного обміну інформацією з ОІК АСДУ верхнього рівня. Зв'язок КП із АРМ чергового ПС здійснюється за допомогою вузла мережі, що забезпечує поділ підмереж АСДУ ПС, ЛВС ПС, КП телемеханіки й можливість підключення до корпоративного ТСП/IP каналу зв'язку за допомогою змінних інтерфейсних модулів. Застосування стандартних промислових рішень дозволяє підключати мікропроцесорні пристрої захистів, реєстраторів аварій і т.п., що дозволяє з АРМ чергового ПС (а за наявності досить швидкісного каналу зв'язку - фахівцям центральних служб) зчитувати із цих приладів дані (в. т.ч. в автоматичному режимі) й виконувати їх параметрування.

Електричне живлення системи резервується (з 2 секцій власних потреб) автоматом включення резерву АВР.

Тенденція до інтеграції різних мікропроцесорних систем і технічних засобів підстанцій і зростаючі запити диспетчерської та інших служб до кількості і якості одержуваної на ПС інформації визначають вимогу до можливості стикування КТЗ АСДУ з мікропроцесорними засобами релейного захисту й автоматики, реєстра- торами аварій, у найближчому майбутньому - із пристроями неруйнуючого конт- ролю й діагностики силового встаткування під навантаженням, а також можливість обміну інформацією з локальною комп'ютерною мережею підстанції з умовою забезпечення розмежування доступу й безпеки роботи засобів АСДУ.

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

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

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

- база даних реального часу (БД РЧ),
- драйвери введення-виводу сигналів телемеханіки,
- тривожна сигналізація,
- підтримка ЛОМ,
- інтерфейс користувача на клієнтських місцях, у тому числі відображен- ня мнемосхем підстанцій та мережі;
- безпека й регламентація доступу, захист даних,

- двійкова історія (ретроспектива) сигналів,
- підсистема розробки (редактори мнемосхем, БД РВ та ін.).

9.2. Системи автоматичного регулювання частоти й потужності

Головним завданням системи автоматичного регулювання частоти й потужності (САРПЧ) є автоматичне забезпечення запланованого сальдо обміну потужності й частоти системи, а також дати можливість диспетчерові виконувати диспетчеризацію й економічне регулювання генерації, беручи до уваги вимоги до резервів, як у нормальних, так і в аварійних умовах.

Повинні бути забезпечені основні можливості, які є важливими для контролю, диспетчеризації й керування генерацією, включаючи: операторський інтерфейс із можливостями контролю, аварійної сигналізації/реєстрації аварійних повідомлень.

Основні вимоги до функцій САРПЧ:

- інформацію про виміри перетоків потужності в граничних пунктах і стан комутуючих пристроїв брати з бази даних реального часу оперативно-інформаційного комплексу (ОІК);
- циклічність передавання даних 1 сек.;
- перевірка й достовірність (вибір достовірного значення параметру з найвищим пріоритетом у разі надходження інформації з декількох вимірювальних пунктів) вимірювальних даних;
- пропорційно - інтегральний закон регулювання;
- регулювання або частоти, або сальдо перетікань, або комбінація цих двох змінних;
- інтегрування в часі відхилень між дійсним і плановим обміном потужності;
- створення бази даних процесу регулювання;
- ведення архіву бази даних;
- розрахунок помилки регулювання (АСІ) відповідності до рівняння:

$$АСІ = \sum \Delta P \pm K * \Delta f,$$

де $\sum \Delta P$ - відхилення фактичного сальдо обміну потужності від запланованого, K - коефіцієнт потужності й частоти, Δf - відхилення фактичної частоти від базової;

- генерація керуючого сигналу;
- посилка на об'єкт заданої базової частоти й керуючого сигналу, на вибір користувача, з інтервалом від 2 до 30 секунд;
- блокування посилки керуючого сигналу при виявленні неправильної роботи системи;
- візуалізація регулювального процесу на терміналі;
- самоконтроль правильності роботи системи загалом;
- обмін інформацією з ЕАСС у Варшаві;
- можливість ручного введення:
 - заданої потужності обміну,

- базової частоти,
- статичних і динамічних параметрів регулятора;
- можливість інтервенційної зміни керуючого сигналу незалежно від зміни, розрахованої алгоритмом регулятора;
- протокол передавання даних IEC 870-5-101;
- виміри частоти системи з точністю 1 мГц;
- точність вимірів активної потужності - 0,5%.

Структурну схему САРПЧ Західної ЕС наведено на рис. 9.2.1: ДП — диспетчерський пункт; ОІК — оперативно-інформаційний комплекс; КОТ — ПУ телемеханіки; АРМ — автоматизоване робоче місце; М — модем зв'язку.

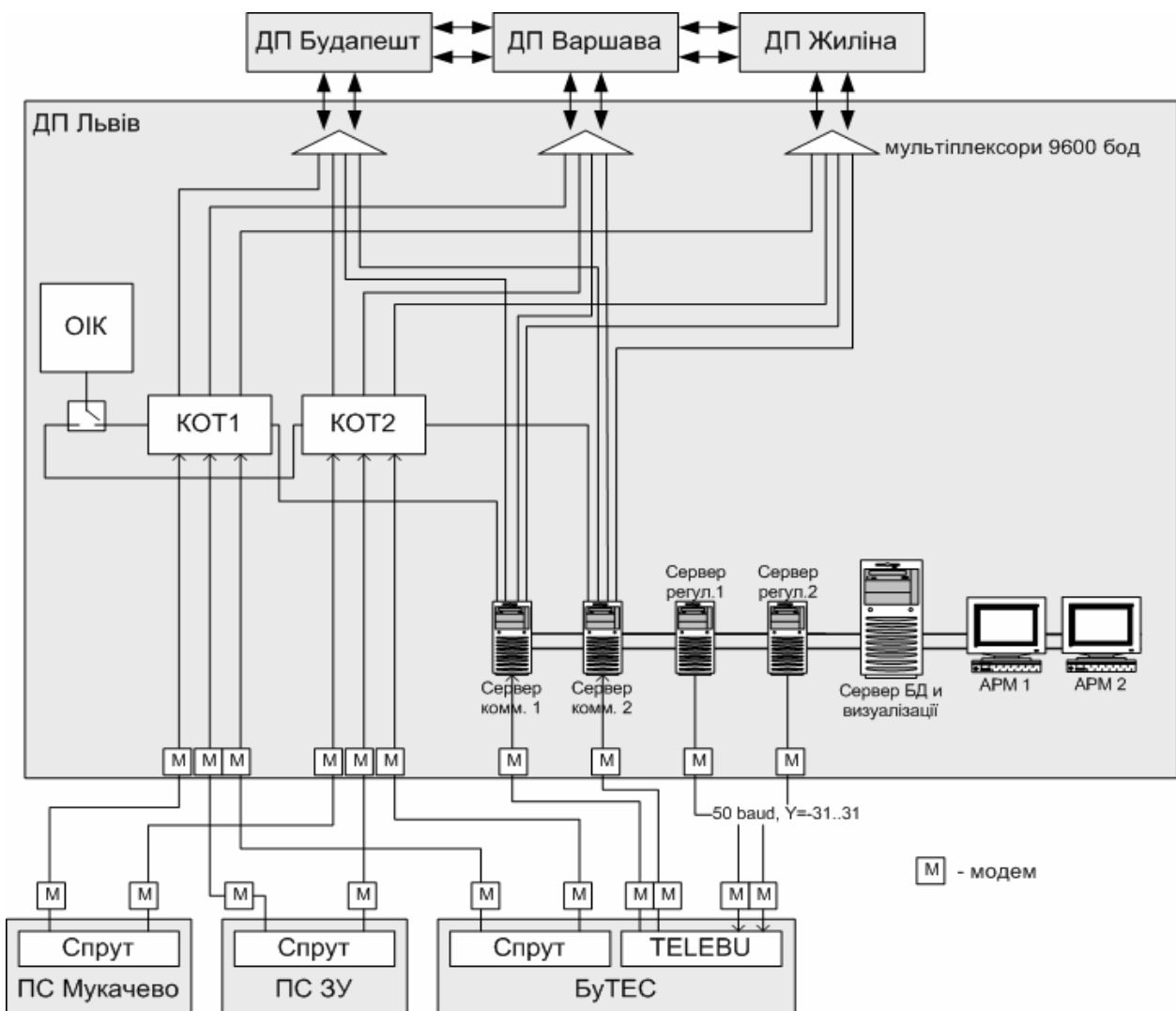


Рисунок 9.2.1 – Структурна схема САРПЧ Західної енергосистеми

Оперативне управління щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України повинне відповідати нормативам СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009 та СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.157:2009.

9.3. Автоматизовані системи диспетчерського управління району електричних мереж

Завдання і функції АСДУ:

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

- Видача ТУ.

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

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

- Ведення журналу подій.

- Ведення поопорних схем.

- Автоматизація документообігу.

Структурна схема (2 рівні)– дивись рис. 9.3.1.

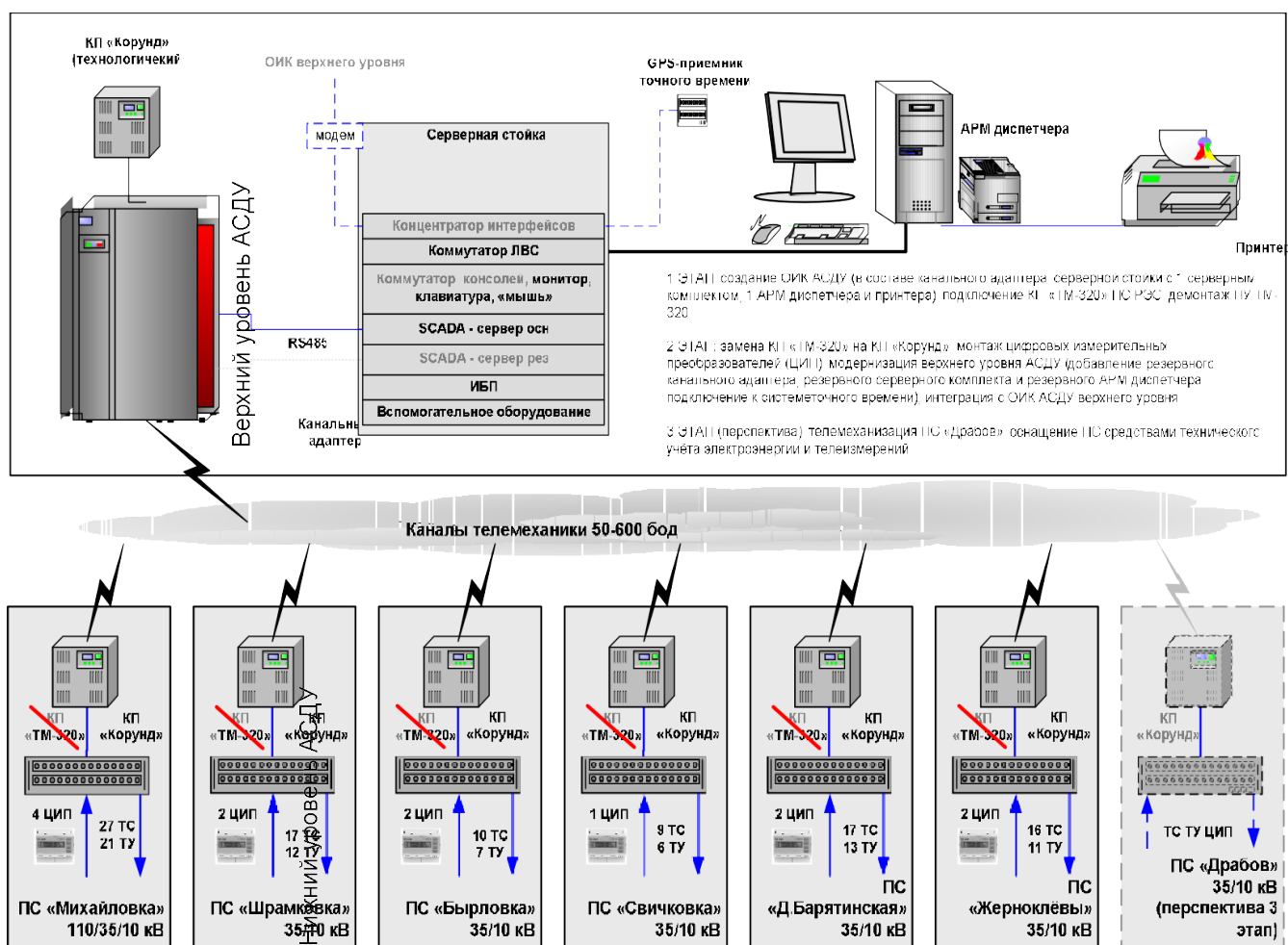


Рисунок 9.3.1. – Структурна схема АСДУ РЕМ

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

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

Канали зв'язку - радіоканали 1200-2400 бод, дротяний зв'язок із частотним ущільненням 100 бод, у майбутньому – супутникові та GPRS-канали,
Апаратура: Мікродат, Енергетик, ТМ-120, Граніт на ПС, КА-96 в РЕМ.

9.4. Автоматизовані системи диспетчерського управління рівня підприємства електромереж і обленерго

Завдання й функції АСДУ:

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

Структурна (2 рівні) схема – дивись рис. 9.4.1.

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

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

- ПУ ТМ (ЦППС) – як правило, дубльований з метою підвищення надійності роботи серверного устаткування, у тому числі серверної стійки з GPS- приймачем для синхронізації часу. Серверне устаткування, як правило, дубльоване і працює в паралельному режимі. SCADA-сервер (основний та резервний) виконує обробку та накопичення даних. Електричне живлення стійки – через джерело безперервного живлення. Забезпечується зв'язок з верхнім рівнем через маршрутизатор.

- 2 АРМ диспетчера з принтером. АРМ диспетчера забезпечує інтерфейс

Структурная схема ОИК АСДУ Днепропетровских восточных электросетей ОАО «ЭК «Днепроблэнерго»

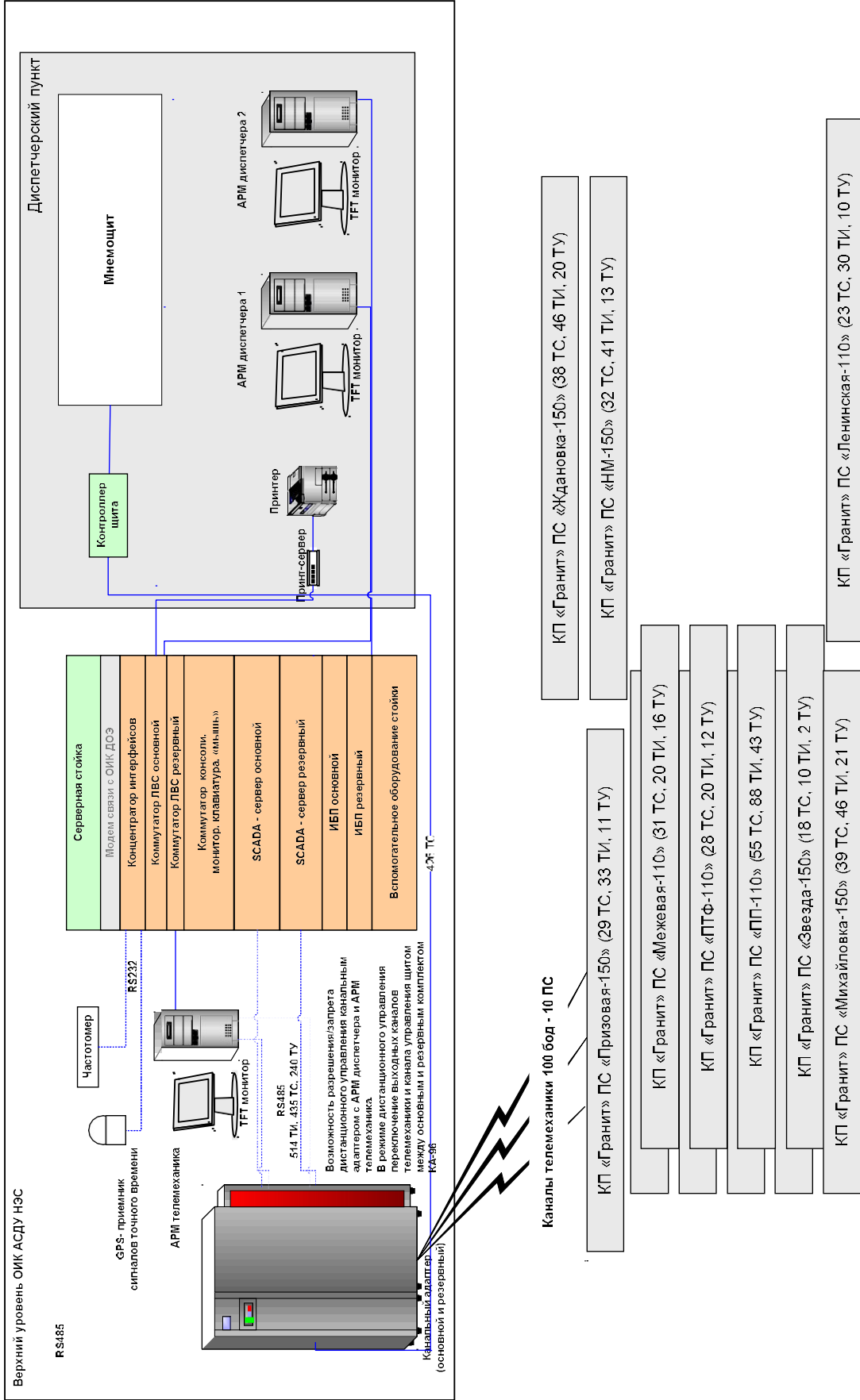


Рис. 9.1 – Структурна схема АСДУ ПЕМ

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

є резервний/технологічний УКП телемеханіки для перевірки модулів. Канали зв'язку - радіоканали 1200-9600 бод, дротяний зв'язок із частотним ущільненням 100-600 бод, супутникові та GPRS-канали. Апаратура: Граніт, Граніт-Мікро, ТМ-800В, Корунд-М, ТМ-320 на ПС.

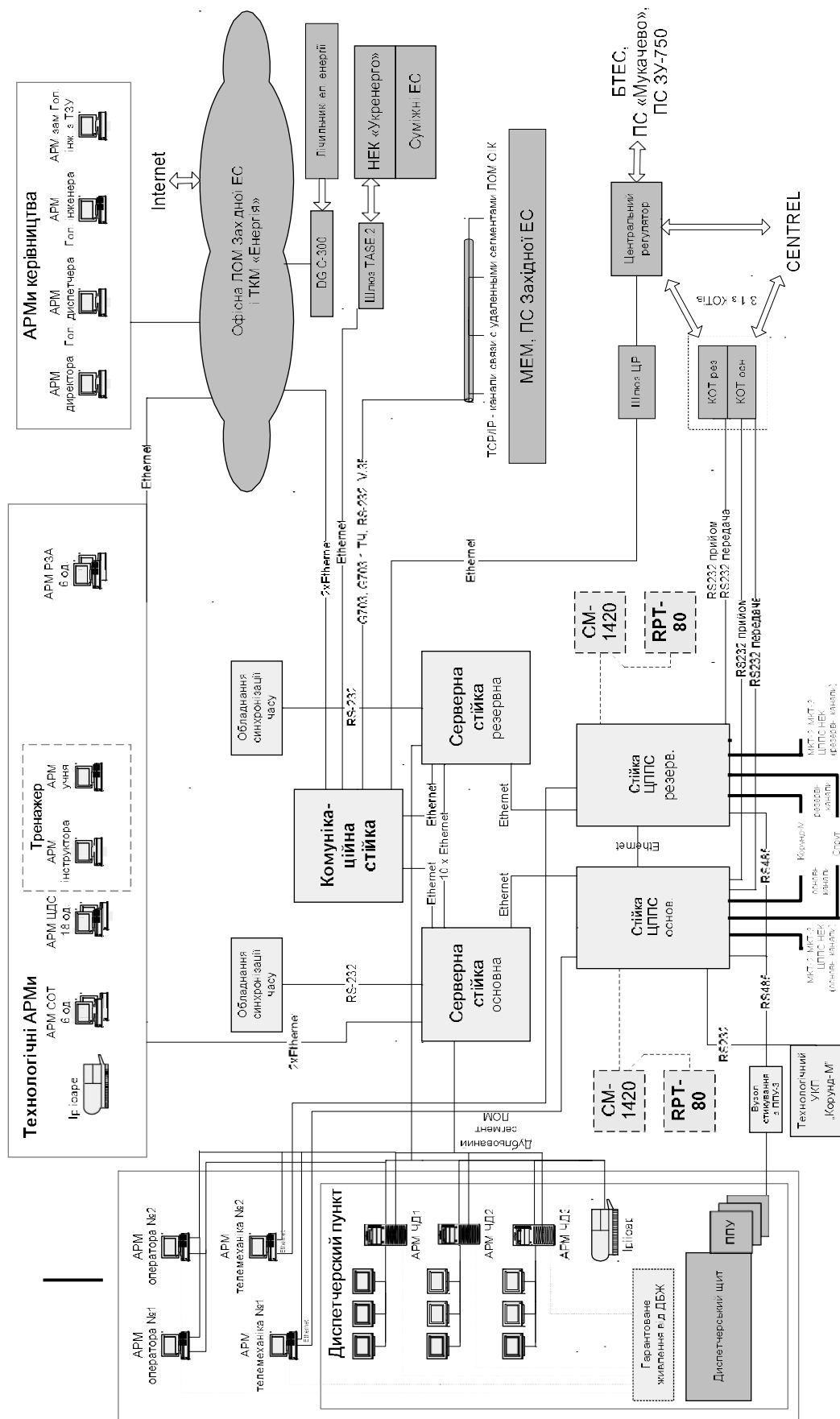
9.5. Автоматизовані системи диспетчерського управління мережами 220 - 750 кВ

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

Основні функції системи

- збір, верифікація, обробка оперативних параметрів, одержаних від систем телемеханіки;
- архівування зібраної інформації;
- діагностика стану пристроїв телемеханіки й каналів зв'язку;
- підтримка функціонування диспетчерського щита;
- відображення однолінійних схем телемеханізованих ПС з урахуванням стану комутаційних апаратів відносно до схеми нормального режиму мережі на моніторах АРМ;
- ведення схеми комутації мережі (СНР);
- ведення добової відомості;
- розрахунок режимів електричної мережі;
- сигналізація нештатних ситуацій;
- ведення оперативних заявок;
- планування режимів;
- введення інформації з файлів і макетів;
- масштабування планшетів ПС;
- швидка навігація в графічному інтерфейсі системи, у т.ч. швидка навігація до об'єкту, на якому відбулася подія;
- обчислення розрахункових втрат, побудова балансів споживання в різних розрізах;
- дорозрахунок нетелевимірюваних величин;
- ручне введення значень параметрів ТС, ТВ;
- автоматизоване, ручне й табличне введення планових значень;
- забезпечення зв'язку з суміжними системами.
- АСДУ мереж 500-750 кВ (диспетчерський центр НЕК «Укренерго») також має групу функцій економічних розрахунків.

Зразки структурних схеми системи загалом, підсистем рівнів МЕМ та підстанції наведено на рис.9.5.1 – 9.5.2.



Канали телемеханіки 100-9600 бод
(приймом та передачею)
від ПС, НЕК, АЕС, ТЕС, ТЕЦ;
до 24 від УКТ, Корунд-М;
до 22 від КТ, Спрут;
до 38* від КТ, МКТ-2* і МКТ-3*
до 6 від НКЗ

Існуюче обладнання
КА-96 - ЦППС
УСППУ - пристрій зв'язку КА-96 з ППУ-3
КОТ - шлюз CENTREL
DG С-300 - система обліку DataGy

Існуюче обладнання з яким О.К. АСЗТІ
стикується на етапі пусконаладки

Рис. 10.1 – Структурна схема АСДУ енергосистеми

Структурна схема КТС системи управління Львівських магістральних електричних мереж (ЛМЕМ)

Підключення до
корпоративної мережі ЗахЕС

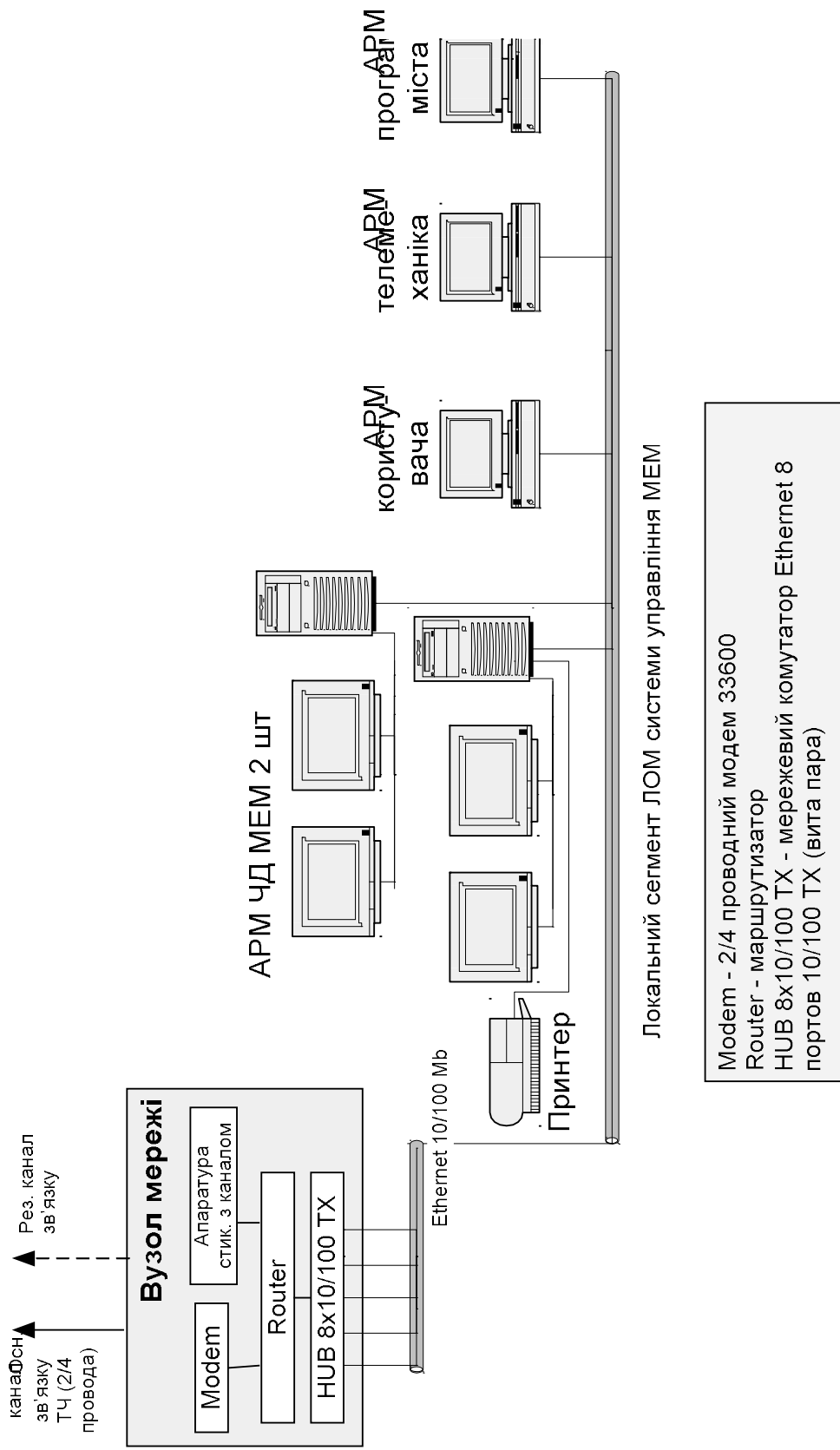


Рис. 10.2 – Структурна схема АСДУ магістральних електричних мереж (у складі АСДУ енергосистеми)

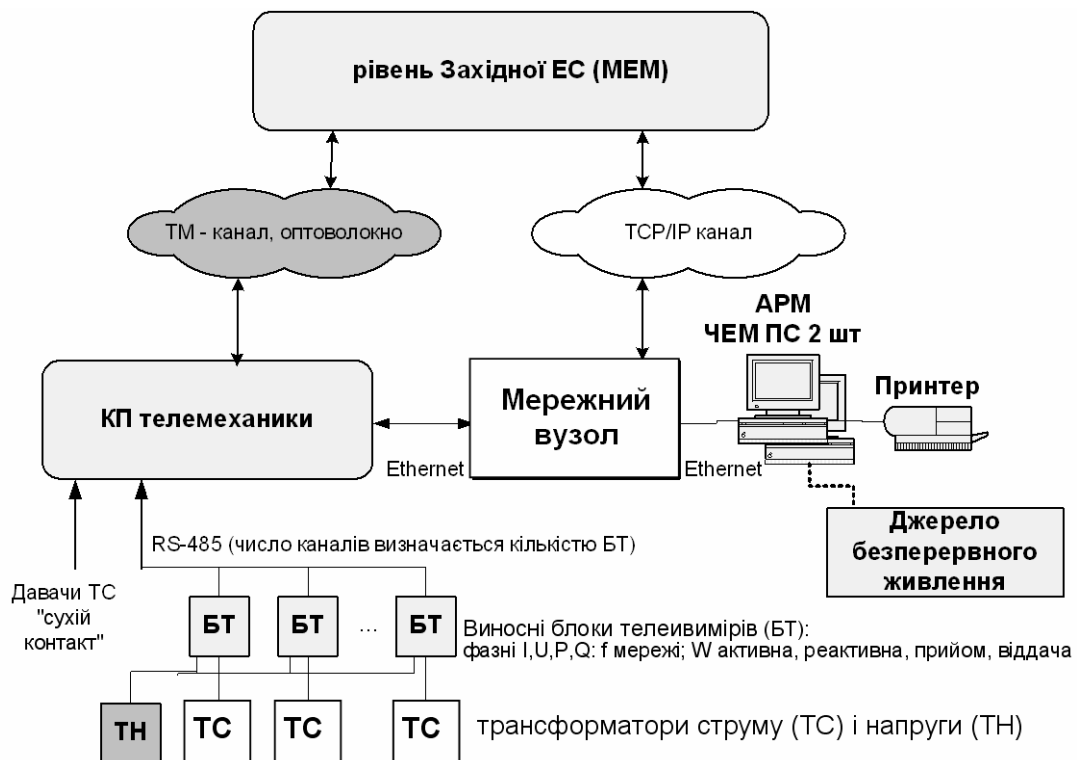


Рисунок 9.5.3 – Структурна схема комплексу технічних засобів АСДУ рівня підстанції

Таблиця 9.5.3 – Опис АСДУ

Складова КТЗ	Позначка	Призначення
Рівень енергосистеми		
ЦППС (основна та резервна)	Стойка ЦППС	ЦППС призначена для прийому телемеханічної інформації від контрольованих пунктів і передавання її на сервер збору даних автоматизованої системи диспетчерського контролю й керування
Серверне устаткування (дубльоване): сервери SCADA, архів, термінальний, WEB/Поштовий, Технологічний	Серверна стойка	Сервери SCADA і архів призначені для виконання диспетчерсько-технологічних завдань, термінальний — для графічного термінального доступу користувачів, WEB — для доступу за допомогою WEB-браузера, поштовий — для забезпечення функціонування електронної пошти, технологічний — для налагодження програмного забезпечення системи

Робочі станції користувачів	АРМ	Забезпечення людино-машинного інтерфейсу при виконанні прикладних завдань системи
Диспетчерський Мнемощит з контролером ППУ	Диспетчерський щит/ППУ	Відображення поточних положень та сигнали- зація переключень вимикачів та аварійно- попереджувальних сигналів у реальному часі, що надійшли з підсистеми телемеханіки
Комунікаційне устаткування системи (модульні маршрутизатори та міжмережні екрани CISCO), сервери асин- хронних портів, модемна стій- ка та конвертери інтерфейсів	Комуні- каційна стійка	Підключення віддалених сегментів мережі ОІК до серверного устаткування, розділ з суміжними ЛОМ
Суміжні системи		
Система обліку	DG C-300	дивись розділ «АСКОЕ»
Шлюз TASE.2	Шлюз TASE.2	Обмін даними з НЕК за протоколом TASE.2
Система автоматичного регулювання частоти та потужності	Центра- льний регулятор	дивись розділ «САРПЧ»
Рівень МЕМ		
Робоча станція диспетчера	АРМ ЧД МЕМ	Диспетчерське управління магістральною мережею
Робочі станції інших користувачів	АРМ ко- ристувача, телемеха- ніка, про- граміста	Супроводження системи, користування інформацією АСДУ
Мережний комутатор	HUB	Об'єднання АРМ у сегмент мережі
Маршрутизатор	Router	Забезпечення зв'язку з енергосистемою
Модем	Modem	Підключення маршрутизатора до каналу
Рівень ПС		
Контрольований пункт телемеханіки	КП теле- механіки	Збір телемеханічної інформації та передача її на АРМ ПС та на верхній рівень
Шафа комунікаційна	Мереж- ний вузол	З'єднання між собою АРМ ПС, КП телемеханіки та підключення до ТСП/IP- каналу зв'язку

Робоча станція чергового електромонтера (ЧЕМ) ПС	АРМ ЧЕМ ПС	Виконання завдань управління електричною підстанцією
Телемеханічний канал зв'язку	ТМ-канал	Канал зв'язку, по якому передають сигнали телемеханіки (ТС, ТВ)
Канал зв'язку ТСП/ІР	ТСП/ІР канал	Канал зв'язку, по якому передається інформація за протоколом ТСП/ІР
Цифровий вимірювальний перетворювач (блок телевимірів)	БТ	Перетворення значень напруги та струму в цифрові сигнали
Трансформатори струму на напруги	ТС, ТН	Вимірювання струму 220-750 кВ та напруги 6-750 кВ

9.6. Автоматизовані системи обліку електричної енергії

Сучасні автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) доцільно проектувати й впроваджувати як інтегровані системи обліку енергоресурсів (включаючи газ, тепло тощо). Основним нормативним документом є «Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку».

Структури АСКОЕ призначені для вирішення таких завдань:

- комплексний автоматизований комерційний і технічний облік електроенергії й енергоносіїв на підприємстві, його інфраструктурах за чинними тарифними системами за всіма параметрами енергообліку (для електроенергії - за споживанням енергії та потужності) з метою забезпечення зовнішніх і внутрішніх розрахунків за енергоресурси й забезпечення їх раціональних витрат;
- контроль енергоспоживання за всіма енергоносіями, місцями і структурами обліку в заданих часових інтервалах (3÷10, 30 хвилин, доба, декада, місяць, квартал, рік) щодо заданих лімітів, режимних і технологічних обмежень потужності, витрат, тиску й температури з метою економії енергоресурсів і забезпечення енергопостачання;
- фіксація відхилень контрольованих величин енергообліку та їхня оцінка в абсолютних і відносних одиницях з метою полегшення аналізу енергоспоживання;
- сигналізація відхилень контрольованих величин понад допустимий діапазон значень з метою прийняття оперативних рішень;
- прогнозування (коротко-, середньо- і довгострокове) значень величин енергообліку з метою планування енергоспоживання;
- автоматичне керування енергоспоживанням на основі заданих критеріїв і пріоритетних схем увімкнення/вимкнення споживачів-регуляторів з метою економії ручної праці й забезпечення якості керування;
- забезпечення внутрішнього госпрозрахунку за енергоресурси між цехами й підрозділами заводу з метою їх економії та раціональних витрат на

робочих місцях;

- точний розрахунок із субабонентами підприємства за енергоспоживання з метою справедливого розподілу енерговитрат.

Усю сукупність функцій систем середнього рівня й ПК верхнього рівня АСКОЕ можна класифікувати за наступними групами функцій:

- формування нормативно-довідкової бази енергообліку підприємства за кожною точкою в структурі обліку, тарифах, зонах, змінах, апаратних і програмних засобах АСКОЕ;

- збір в автоматичному (за заданими періодами часу) і ручному (за запитом оператора) режимах конкретних штатних параметрів кожної системи децентралізованої АСКОЕ за кожною точкою й/або структурі обліку;

- накопичення даних енергообліку в базі даних АСКОЕ на ПК по кожній точці обліку з заданою тимчасовою дискретністю на необхідну ретроспективу;

- оброблення накопичених значень енергообліку відповідно до чинних тарифів, схеми енергопостачання й структури обліку підприємства;

- відображення вимірювальної й розрахункової інформації енергообліку у вигляді комплексу графіків, таблиць і відомостей на моніторі ПК;

- документування вимірювальної й розрахункової інформації енергообліку у вигляді графіків, таблиць і відомостей на принтері ПК;

- сигнали щодо позаштатні ситуації;

- прогнозування навантаження;

- автодіагностика АСКОЕ з аналізом надходження інформації від первинних перетворювачів нижнього рівня АСКОЕ, перебоїв і відмов систем і каналів зв'язку.

Системи контролю й обліку енергоресурсів (АСКОЕ) у загальному випадку містять три рівні:

- нижній рівень - вимірювальні перетворювачі – ВП (давачі, лічильники) з телеметричними виходами або цифровими інтерфейсами, що здійснюють безупинно або з мінімальним інтервалом усереднення вимір параметрів енергообліку споживачів (витрати, потужність, тиск, температуру, кількість енергоносіїв, кількість теплоти з енергоносієм) у місцях обліку (фідер, труба); облік електроенергії виконує лічильник;

- середній рівень — контролери (спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмовані перетворювачі) з програмним забезпеченням з енергообліку, що здійснюють у заданому циклі інтервалу усереднення цілодобовий збір вимірювальних даних з територіально розподілених ВП, накопичення, обробку й передачу цих даних на верхній рівень; для обліку електроенергії на середньому рівні використовують прилади обліку, для технічного обліку використовують також КП телемеханіки з входами телевимірів інтегральних (ТВІ), до яких підключають телеметричні (імпульсні) виходи лічильників;

- верхній рівень - персональний комп'ютер (ПК) або комп'ютерна мережа зі спеціалізованим програмним забезпеченням, що здійснює збір

інформації з контролера (або групи контролерів) середнього рівня, підсумкову обробку цієї інформації як у місцях обліку, так і в їхніх групах - у підрозділах і об'єктах підприємства, відображення й документування даних обліку у вигляді, зручному для аналізу й прийняття рішень (керування) оперативним персоналом служби головного енергетика й керівництвом підприємства.

Усі вимірювальні (а також обчислювальні) засоби й лінії зв'язку, які мають точнісні характеристики та впливають на точність обліку за наданою точкою обліку, називають *вимірювальним каналом*. Як правило, до каналу входять усі вимірювальні перетворювачі та канали зв'язку, в яких інформація передається у аналоговому вигляді, а також обчислювальні засоби, які впливають на точність передавання облікових даних (наприклад, при формуванні пакетів даних для передавання на інший рівень може бути змінена форма подання числа). У випадку комерційного обліку електроенергії кожна точка обліку має 2 канали, які відповідають наявності основного та дублюючого лічильника; похибка вимірювального каналу має апаратну та обчислювальну складові. При правильно обраних обчислювальних засобах, програмному забезпеченні, алгоритмах обчислювань та протоколах передавання даних програмна складова похибки обліку набагато менш за апаратною. При визначенні похибки обліку враховують точність вимірювань не тільки безпосередньо облікових величин, а також і точність прив'язки до часу, яку можуть виконувати не тільки цифровий перетворювач (лічильник), а окремий контролер (прилад обліку).

Наприклад, для обліку електричної енергії з використанням приладу обліку «ІТЕК-210» під вимірювальним каналом (без урахування програмної компоненти) мається на увазі сукупність трансформаторів струму та напруги, їхні вторинні ланцюги, електролічильник з телеметричним (імпульсним) виходом і двопровідна лінія зв'язку до приладу обліку.

Нижній рівень систем обліку підключається до верхнього за допомогою ланцюгів імпульсних виходів або послідовними каналами зв'язку (RS-232, RS-485, токова петля).

Середній рівень АСКОЕ пов'язаний із верхнім рівнем каналом зв'язку, де можуть використовуватися фізичні провідні лінії зв'язку, виділені або комутовані телефонні канали, радіоканали, в тому числі супутникові та стільникові. До змісту поняття каналу зв'язку входять не тільки лінії зв'язку, а й устаткування зв'язку, що обслуговує ці лінії, іноді сукупність каналів зв'язку називають середовищем зв'язку. Передача даних по цих каналах здійснюється, як правило, з використанням стандартних інтерфейсів (інтерфейси типу RS-232, RS-485, ІРПС тощо) і відповідно стандартних (наприклад Modbus, IEC1107) або оригінальних (протоколи систем ІВСЕ4, СЕМ-1 і т.п.) протоколів обміну.

Інтерфейси вимірювальних каналів аское

Для обліку електроенергії в якості первинних вимірювальних перетворювачів використовують вимірювальні трансформатори струму та напруги. Струм у вторинних ланцюгах трансформаторів струму є пропорційним до первинного струму в фазі фідера і має номінальне значення 1, 2 або 5 А. Напруга у вторинних ланцюгах трансформаторів напруги пропорційна до первинній напруги. Номінальна фазна напруга вторинних ланцюгів трансформаторів напруги

складає $100/\sqrt{3}$ В, міжфазна (лінійна) — 100 В. Використовують тільки вимірювальні вторинні обмотки трансформаторів, які мають точнісні характеристики, зазначені в паспорті трансформатора. Використовують декілька схем підключення лічильників до вимірювальних трансформаторів залежно від наявності трансформатора в фазі «В» та схем з'єднання обмоток вимірювальних трансформаторів (рис. 9.6.1 – 9.6.3). Як правило, сучасні лічильники підтримують усі ці схеми, необхідно тільки виконати параметрування лічильника.

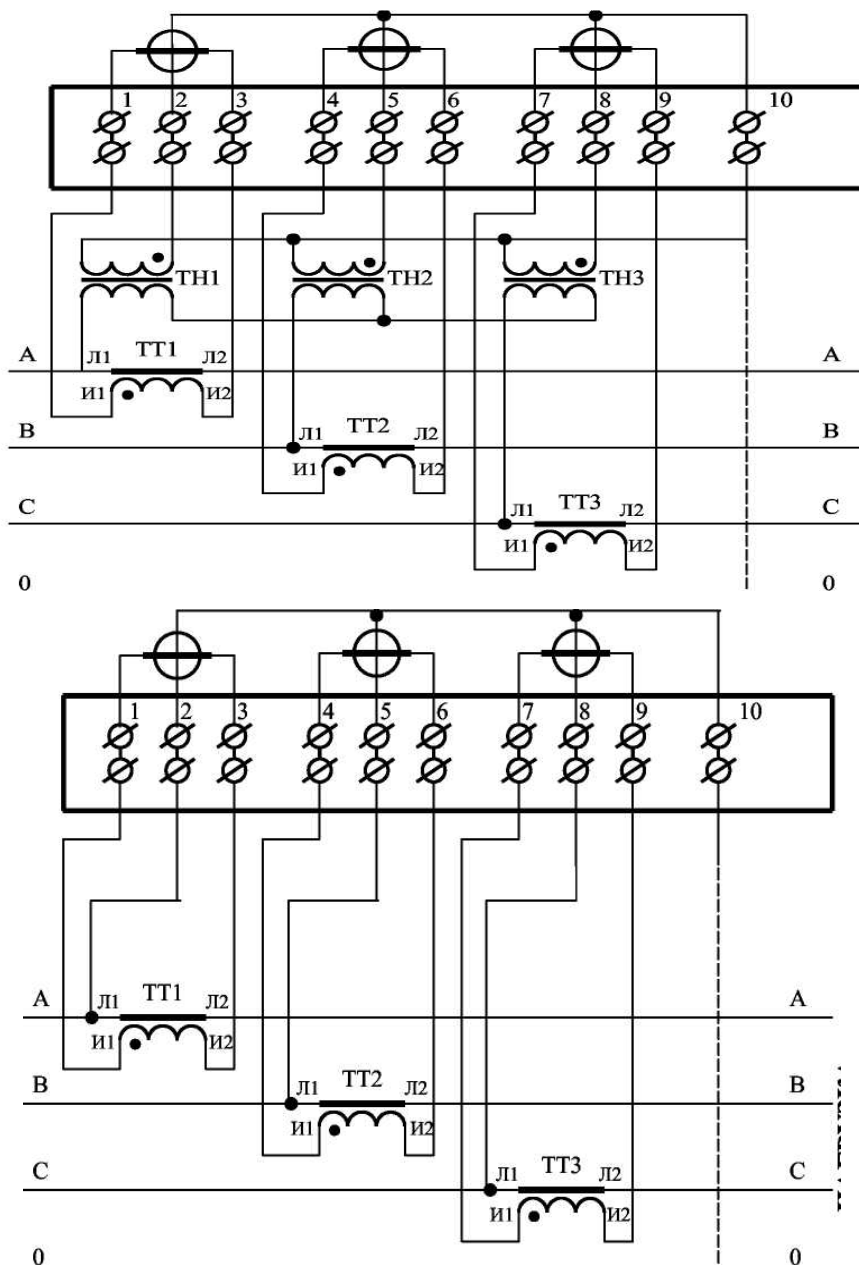


Рисунок 9.6.1 - а) Схема підключення лічильника до трифазної 3-дротяної або 4-дротяної мережі 6-750 кВ за допомогою 3 трансформаторів напруги й 3 трансформаторів струму; б) Схема підключення лічильника до трифазної 3-дротяної або 4-дротяної мережі 0,4 кВ за допомогою 3 трансформаторів струму

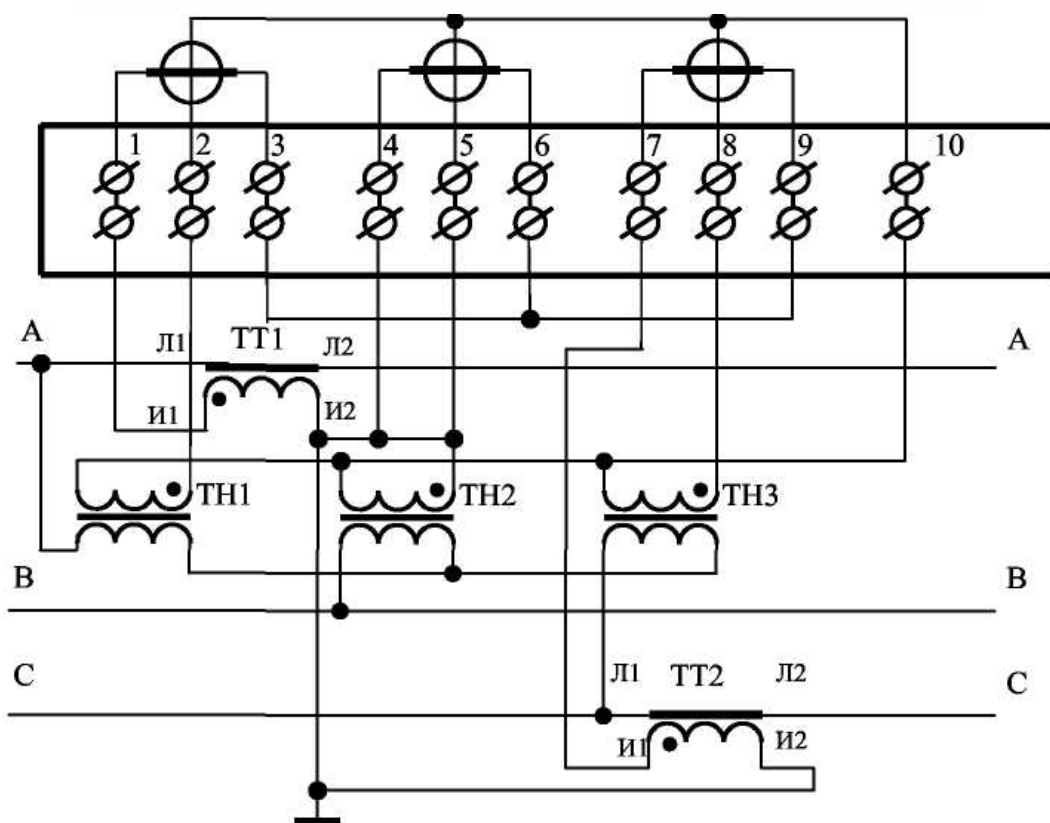
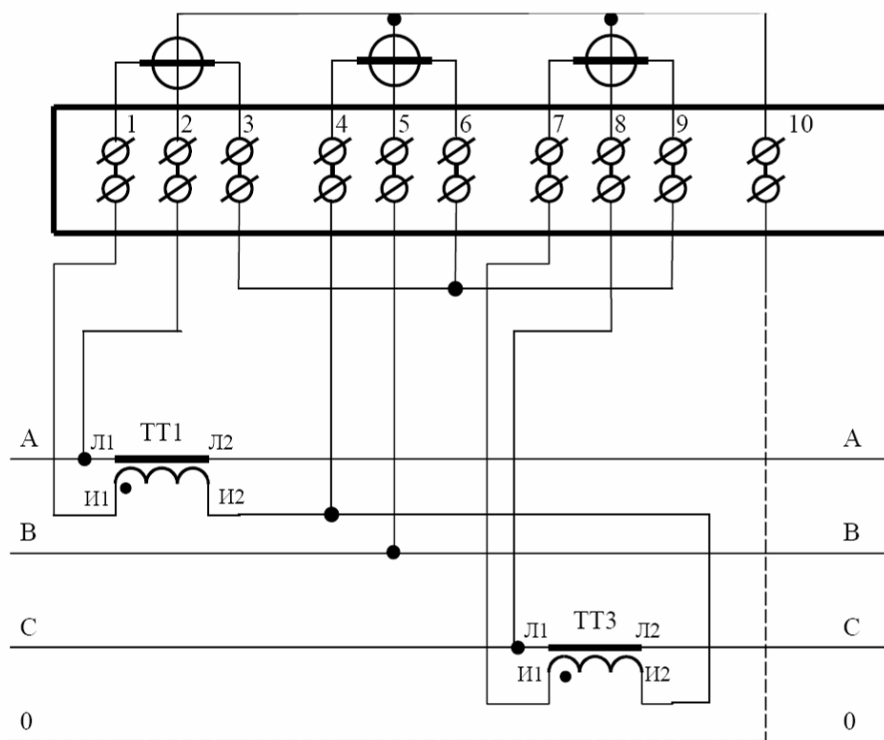


Рисунок 9.6.2 - а) схема підключення лічильника до трифазної трьохдротяної або чотирьох-дротяної мережі 0,4 кВ за допомогою двох трансформаторів струму; б) схема підключення лічильника до трифазної 3-проводної мережі за допомогою 3 трансформаторів напруги й 2 трансформаторів струму

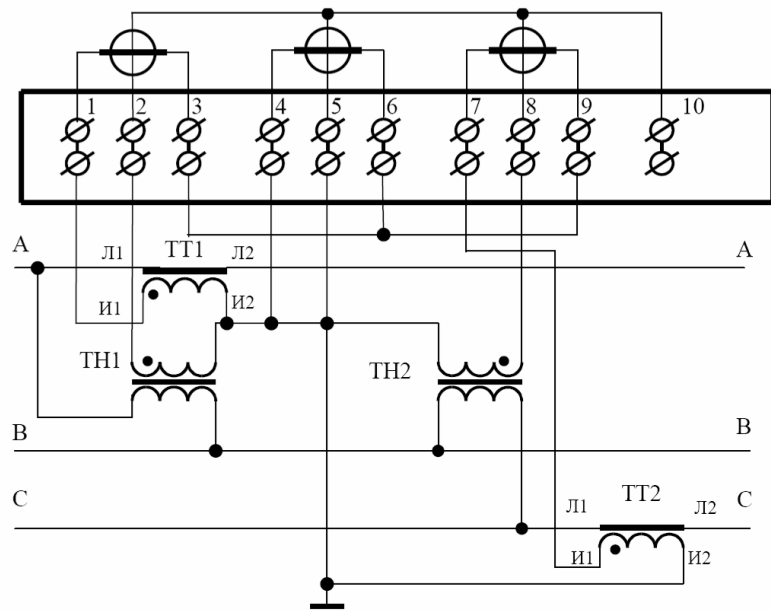


Рисунок 9.6.3 – Схема підключення лічильника до трифазної 3-проводної мережі за допомогою 2 трансформаторів напруги й 2 трансформаторів струму

Інтерфейси каналів зв'язку АСКОЕ

Канали зв'язку в трирівневій структурі АСКОЕ промпідприємства поєднують лічильники з приладами обліку, а також прилади обліку з верхнім рівнем.

Більшість лічильників і ПО мають типові інтерфейси, розглянуті далі.

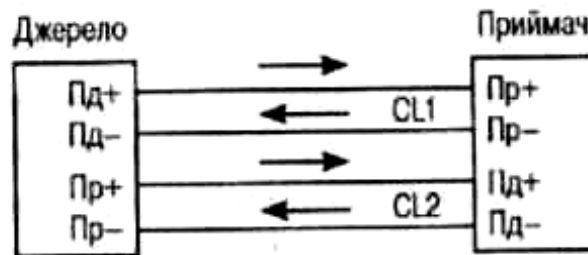


Рисунок 9.6.4 – Інтерфейс зі струмовою петлею

Інтерфейс зі струмовою петлею (CL — Current Loop) належить до класу універсальних двоточкових радіальних інтерфейсів вилученого послідовного доступу до систем – рис. 9.6.4. Цей інтерфейс широко застосовують в промисловості, бо він дає змогу здійснити зв'язок фізичними лініями на далекі відстані (до 3 км) без використання апаратури передавання даних (модемів). Інтерфейс CL є двопровідною лінією, яка утворює струмову петлю із джерелом струму, що перемикається дискретно, і приймачем. Дані від джерела до приймача передають послідовно побітно й побайтно асинхронним способом сигналами постійного струму ($i < 2$ мА відповідає логічному «0», $i > 17$ мА — логічної «1»). Для симплексного передавання даних у одному напрямку використовують 2-дротяний ланцюг, для дуплексної передавання в двох напрямках — 4-дротяний (ІРПС). Максимальна швидкість на відстані 500 м — 9600 біт/с.

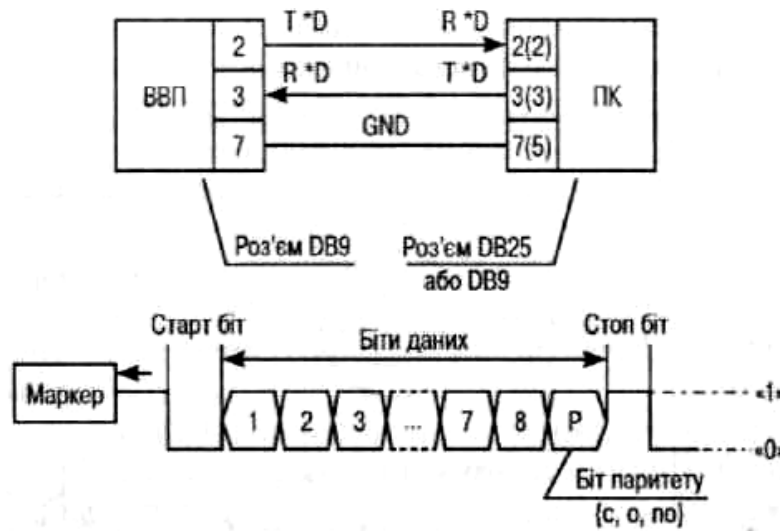


Рисунок 9.6.5 – Для асинхронного обміну через модем

Інший тип масового інтерфейсу, який знайшов широке застосування — інтерфейс стандарту Асоціації електронної промисловості США (EIA) RS-232C (європейський аналог — Стандарт ССІТТ V.24). Цей тип інтерфейсу застосовують для синхронного й асинхронного зв'язку між пристроями в симплексному, напівдуплексному і дуплексному режимах. Стандарт регламентує призначення і склад ліній (ланцюгів) інтерфейсу, їхню нумерацію, електричні характеристики, позначення й рівні сигналів інтерфейсу, швидкості передавання даних і тип використаних кінцевих контактів. Залежно від умов конкретного застосування використовується різне число ліній інтерфейсу. Так, для асинхронного обміну через модем потрібні 8 ланцюгів, а для аналогічного зв'язку фізичними лініями — тільки три ланцюги: дані передавача TxD, дані приймача RxD і сигнальна земля GND — рис. 9.6.5. З'єднання інтерфейсом RS-232C реалізують через стандартні 9- або 25-контактні роз'єми типу DB9 або DB25.

Швидкість передавання даних інтерфейсом RS-232C складає від 50 біт/с до 115200 біт/с у більшості реалізацій (чипсети ПК підтримують 128 кбіт/с), а максимальна довжина ліній зв'язку при швидкості 19200 біт/с не перевищує 16 м. На практиці ця відстань може бути істотно збільшена при зниженні швидкості передавання й використанні екранованого кабелю з малою власною ємністю (при швидкості 1200 біт/с максимальна довжина неекранованого кабелю досягає 900 м). Типовий формат асинхронної передавання даних інтерфейсом представлений на рис. 9.6.6 (аналогічний формат використовують й для інтерфейсу ІРПС). Переданий байт даних оформляється стартовим бітом, бітом паритету й стоповим бітом. Будь-яке повідомлення, передане інтерфейсом асинхронним способом, є сукупністю байтів даних, оформлених зазначеним шляхом.

Пізніше були розроблені нові стандарти, що дали змогу поліпшити узгодження ліній, збільшити відстань і швидкість передавання даних, реалізувати складнішу структуру з'єднань приладів. Стандарт RS-422A орієнтований на використання диференціальної збалансованої лінії передавання з імпедансом 50 Ом, що підвищує завадостійкість інтерфейсу, довжину лінії зв'язку й швидкість передавання (10 Мбіт/с при довжині кабелю до 13 м і 100 кбіт/с при

довжині 1300 м). Крім того, цей стандарт допускає підключення до одного передавального пристрою до 10 приймачів. Пізніший стандарт RS-485A, що є вдосконаленням RS 422A, орієнтований при тих самих швидкісних характеристиках на спільну роботу до 32 джерел і 32 приймачів даних (найбільш сучасні реалізації – 256). Останні два стандарти дають змогу поєднувати прилади в розгалужені мережні структури й тому в останні роки все частіше застосовують в різних приладах, у тому числі й в приладах обліку енергоресурсів.

Розглянуті інтерфейси каналів зв'язку створюють можливість будувати територіально-розподілені і децентралізовані АСКОЕ промпідприємств. Трипровідний інтерфейс RS-232C дає змогу найпростішим способом підключати до порту ПК автономну (до 900 м) систему обліку. При необхідності підключення до комп'ютера кількох систем у ПК вмонтовують стандартний мультиплексор RS-232C на необхідну кількість каналів (4, 8 або 16). Необхідно зауважити, що для захисту устаткування від перенапруг, особливо при грозових розрядах, у лініях зв'язку слід застосовувати мережні фільтри передавання даних МФПД.

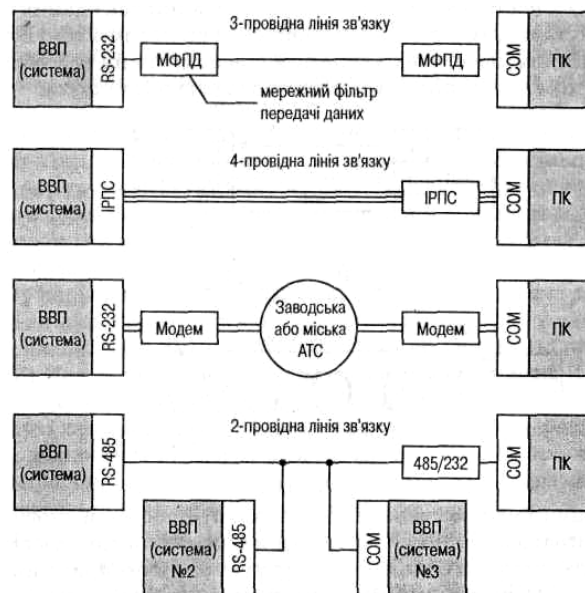


Рисунок 9.6.6 – Типовий формат асинхронної передавання даних інтерфейсом представлений

Комерційні, технічні, централізовані й децентралізовані АСКОЕ

За призначенням АСКОЕ підрозділяють на системи комерційного й технічного обліку. Комерційним, або розрахунковим обліком називають облік виробленої й відпущеної споживачеві (підприємству) енергії для фінансового розрахунку за неї (прилади для комерційного обліку також називають комерційними або розрахунковими). Технічним, або контрольним обліком називають облік для контролю процесу енергоспоживання в самому підприємстві в його підрозділах і об'єктах (відповідно використовують прилади технічного обліку). Системи АСКОЕ комерційного й технічного обліку можуть бути реалізовані як окремі і єдині (змішані) системи. Донедавна в реалізації систем АСКОЕ на підприємствах переважав інший підхід, але поява нової техніки зробила можливим створення окремих систем (роздільних, принаймні, на середньому рівні АСКОЕ). Цьому сприяла й

Таку систему будують на базі недорогих малоканалних контролерів обліку з вбудованим табло й клавіатурою, які встановлюють безпосередньо на контрольованих об'єктах і через середовище зв'язку підключають до ПК головного енергетика підприємства. Така АСКОЕ забезпечує в реальному масштабі часу доступ до інформації енергообліку всім зацікавленим особам. Децентралізована структура АСКОЕ створює можливість без протиріч об'єднати в рамках єдиної АСКОЕ функції комерційного та технічного обліку: одна або кілька малоканалних систем відділяють для вирішення завдань комерційного обліку (і, відповідно, пломбують енергоконтролюючими організаціями), а інші системи вирішують завдання технічного обліку. Нарешті, децентралізована АСКОЕ, що використовує системи обліку з додатковими функціями керування, дає змогу реалізувати автоматичне керування навантаженням (споживачами-регуляторами) безпосередньо на місцях встановлення систем (для виробництв із високою технологічною дисципліною).

Багаторівневі інтегровані АСКОЕ вітчизняних виробників

АСКОЕ реалізована в рамках архітектури клієнт-сервер на основі СУБД Oracle в середовищах Windows NT і Windows 95. Система має значну гнучкість відносно зміни схем підключення й правил проведення розрахунків. Користувачеві надають широкі можливості з формування груп обліку (тарифних складових), налаштування вихідних форм, підготовки звітів.

Запропонована система може мати зв'язки з пристроями обліку електроенергії типу ІТЕК-210, ЦТ-5000, широкою номенклатурою лічильників електроенергії з імпульсним або цифровим виходом вітчизняних і закордонних фірм-виробників. Давачам, застосовуваним для контролю первинних параметрів газу, слід мати вихід за стандартом Bell 202. Застосовані при створенні АСКОЕ принципи побудови системи й засоби розробки дають змогу без значних витрат масштабувати систему для використання як на невеликих підприємствах, так і на великих промислових гігантах або в територіально розподілених системах, що мають складну структуру місць обліку надходження, відпускання й розподілення електроенергії й газу. Система може бути адаптована в тому числі й для обліку теплоенергії, води, пари й інших енергоресурсів..

Функції системи

- оперативний автоматичний контроль і облік параметрів споживання електроенергії й потужності кожної групи обліку із заданим періодом контролю;
- оперативний автоматичний контроль і облік споживання теплоенергії з заданим періодом контролю;
- оперативний автоматичний контроль і облік споживання води й газу кожної групи обліку з заданим періодом контролю;
- зберігання параметрів обліку в базі даних з додатковою можливістю архівування інформації на зовнішньому магнітному носії (із глибиною архіву, зумовленою загальною ємністю використаних носіїв);
- забезпечення багатотарифного (до 4-х тарифних зон протягом доби) обліку споживання електроенергії;
- забезпечення контролю за дотриманням лімітів енергоспоживання;
- вивід розрахункових параметрів на термінал і/або на друкувальний пристрій на вимогу оператора;

- введення єдиного системного часу з можливістю його коригування. Кожну групу й точку обліку АСКОЕ контролює й зараховує на такі параметри споживання:
 - значення спожитої електроенергії (окремо по тарифних зонах і загалом за добу, місяць, рік);
 - значення спожитої теплоенергії, води й газу (у цілому за добу, місяць, рік);
 - еквівалентне значення показань лічильників електроенергії, теплоенергії, води й газу на початок кожної доби (спожита активна енергія окремо тарифними зонами);
 - значення середньої спожитої активної потужності за кожний інтервал години, качан якого кратний, а тривалість дорівнює періоду контролю;
 - максимальні значення й година фіксації (з інтервалом усереднення, який дорівнює періоду контролю) спожитої активної потужності за кожний трихвилинний інтервал години з качану доби (у цілому за добу, місяць, рік);
 - значення діючого ліміту потужності, розрахункового базового навантаження, дозволеного навантаження й відхилення фактичного навантаження від дозволеного (визначається для всіх груп обліку за кожен інтервал години, качан кратний, а тривалість дорівнює періоду контролю).

АСКОЕ - система, яка розроблялася відкритою, гнучкою, багатофункціональною, з великою кількістю користувачів. Графічний інтерфейс і база даних є основними компонентами, що визначають цінність системи з погляду кінцевого користувача.

Ядром системи є СУБД Oracle. У базі даних зберігається вся інформація про структуру системи і її поточну конфігурацію, дані про користувачів і клієнтів системи, а також інформація, одержана з місць обліку або при обробці первинних параметрів.

Відкритість архітектури АСКОЕ допускає інтеграцію системи як із суміжними АСКОЕ, так і з іншими автоматизованими системами. Це досягається завдяки використанню стандартних інтерфейсів і протоколів обміну даними (SQL/ODBC, DDE, обмін текстовими файлами через електронну пошту). Гнучка структура забезпечує швидко адаптацію системи до об'єкта контролю прямо на місці, тобто вже після інсталяції системи на об'єкті, причому адаптацію системи можуть здійснювати як розроблювачі системи, так і самі користувачі (які мають необхідні повноваження).

В АСКОЕ реалізована гнучка система визначення повноважень користувача, ідентифікації користувача, авторизації зроблених змін і захисту інформації від несанкціонованого доступу. Кожен користувач при вході в систему ідентифікується й вводить особистий пароль, після чого він одержує доступ тільки до тих функцій системи, які визначені його роллю - списком повноважень, наданих йому адміністратором системи.

Монітор АСКОЕ - вікно в базу даних. Монітор АСКОЕ - це основний інструмент доступу до інформації бази даних. За допомогою монітора відбувається доступ, вибірка, обробка й візуалізація інформації бази даних. За допомогою монітора реалізується виконання основних функцій АСКОЕ. Тип монітора вибирає користувач із списку наявних моніторів відповідно до повноважень користувача. При відкритті монітора користувач визначає групу

спостереження (наприклад, групу споживачів, сектор економіки або район області), період і форму відображення (графічну або табличну). За необхідності користувач може самостійно створювати монітори на підставі наявного набору шаблонів.

АСКОЕ містить потужну й гнучку систему підготовки звітів. До системи входять форми основних звітів, використаних на підприємствах енергозбуту. При необхідності можна легко розширити наявний список, оскільки в АСКОЕ є редактор звітів, за допомогою якого, користуючись засобами MS Excel, є змога розробити нові форми звітів.

Служба експорту-імпорту призначена для організації обміну даними з обліку електроенергії.

Служба експорту-імпорту виконує такі функції:

- приймання й передача показань енергоспоживання об'єктів, зазначених у групах експорту;
- відображення потокового стану служб експорту-імпорту;
- реєстрація змін, проведених у базі даних службами експорту-імпорту в журналі системи;
- забезпечення обміну інформацією АСКОЕ із суміжними системами (наприклад, з АСКОЕ підприємства «Енергозбут»).

Розроблена відповідно до принципів Windows, система допомоги містить усю необхідну інформацію про функції АСКОЕ й способи їхнього використання. Можливість пошуку інформації із ключового слова допоможе швидко знайти те, що цікавить.

Налаштування й конфігурування АСКОЕ здійснює адміністратор системи. Адміністратор має всі права доступу до системи й може вводити нових користувачів і визначати коло їхніх повноважень, добудовувати структуру системи й задавати методики обчислення, додавати або змінювати існуючі екранні й звітні форми. За допомогою завдання «Редактор» є змога вводити й описувати місця, групи обліку й приєднання, задавати параметри приладів обліку. Використовуючи редактор форм і звітів, можна на підставі наявних шаблонів створювати нові форми й звіти.

Підсистема верхнього рівня

Верхній рівень системи є локальною обчислювальною мережею, яка включає сервер бази даних, комунікаційний сервер з апаратурою зв'язку, автоматизовані робочі місця адміністративного й технічного персоналу. Залежно від масштабу об'єкта контролю апаратура верхнього рівня може мати як одну ПЕОМ типу IBM PC, що виконує всі зазначені функції, так і великомасштабну розподілену обчислювальну систему, що включає UNIX-Сервери й десятки автоматизованих робочих місць. АСКОЕ також може сполучатися з суміжними системами (автоматизованою системою розрахунку зі споживачами, автоматизованою системою диспетчерського керування), які виступають як клієнти бази даних АСКОЕ й обмінюються з нею даними зі спожитої електроенергії за інтерфейсом SQL/ODBC.

Підсистема нижнього рівня

Апаратура нижнього рівня забезпечує контроль параметрів електроспоживання, споживання води, виробництва або споживання тепла й

газу окремими структурними підрозділами й підприємством у цілому й передачу їх на верхній рівень системи.

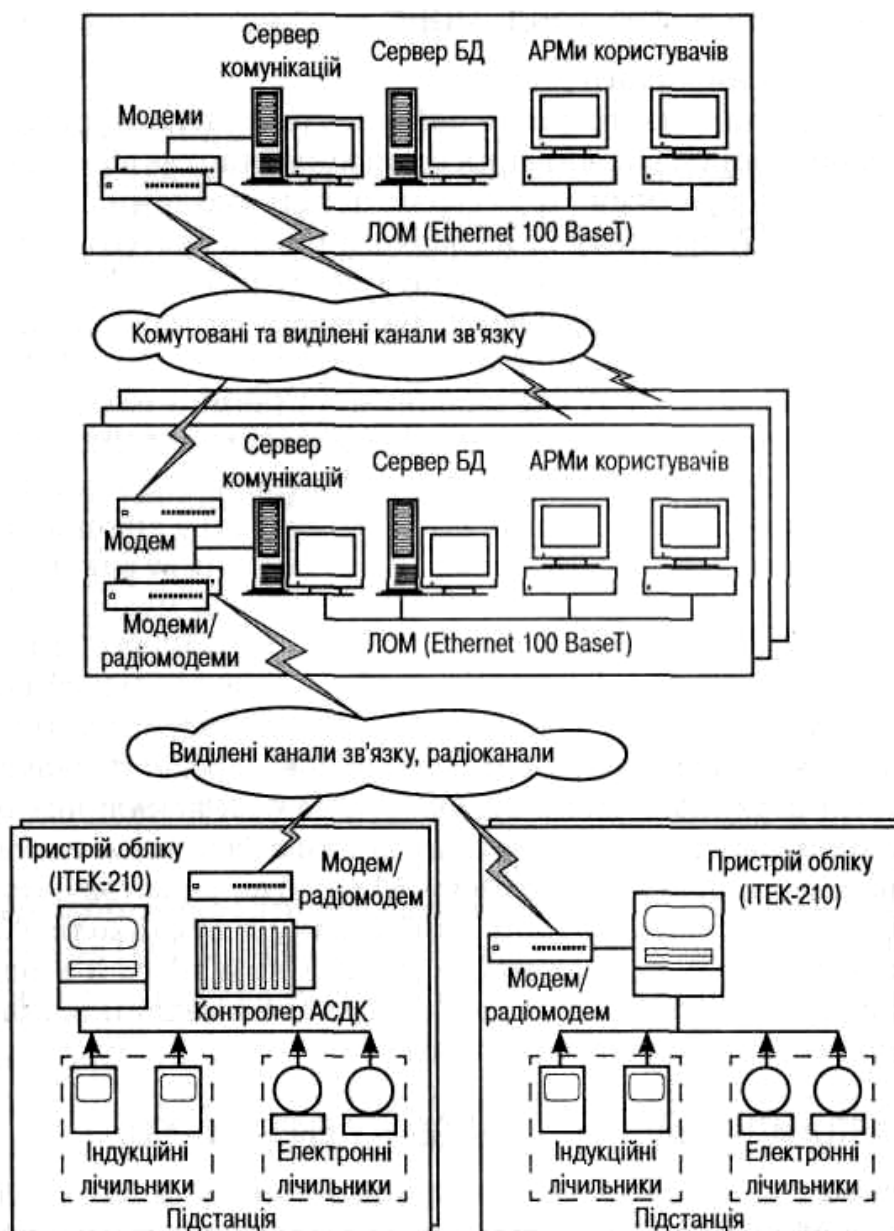


Рисунок 9.6.9 – Схема підсистеми нижнього рівня

Апаратура нижнього рівня працює в автоматичному режимі й не потребує втручання технічного персоналу. Базовими системами нижнього рівня є існуючі системи обліку електроенергії типу ІТЕК-210, ЦТ-5000, інтелектуальні електронні лічильники електроенергії, об'єднані в локальну мережу RS-485, і пристрої контролю параметрів подачі газу «Енергія» (власної розробки, побудовані з використанням процесорних модулів Win Systems). Для здійснення технічного контролю та обліку можливо використати пристрій обліку на базі універсального контрольованого пункту телемеханіки «Корунд-М» власної розробки, створеного для використання в автоматизованих системах диспетчерського керування. Підсистеми верхнього рівня будують на базі локальних обчислювальних мереж підприємств. Як канали зв'язку між

системами різних рівнів (підприємства, району, області) використовують виділені дво- або чотиридротяні лінії зв'язку та протоколи стеку TCP/IP.

Автоматизована система обліку енергії c-2000

Систему C-2000 випускає фірма Landis & Gyr. Система має повну назву DATAGYR® C2000. Вона складається з кількох модулів. Основний базисний модуль не залежить від конкретного застосування й поєднує в собі всі основні функції. Додаткові модулі дають змогу індивідуально настроїти DATAGYR® C2000 на конкретне прикладне завдання.

DATAGYR® C2000 здійснює збір показань регістрів лічильників за прото- колом STOM (послідовна передача оригінальних показань лічильників), а та- кож періодичних даних (графік навантаження) і даних для розрахунку за енер- гію. Збір даних може проводитися такими лініями зв'язку, як телефонна мере- жа, виділені канали зв'язку, силові лінії електропередавання й локальна мережа (LAN) з використанням таких протоколів:

- SCTM (послідовна кодована телеметрія);
- IEC 870-5.

Поряд із даними, одержаними завдяки комунікаційним мережам, система DATAGYR® C2000 може також зчитувати дані локально. Для прийому даних від інших систем є функція зчитування даних у форматі L&G або текстовому форматі. Також є можливість імпорту даних, які внаслідок обриву комунікацій- них ліній були полічені на місці за допомогою портативного комп'ютера або записані на карту даних (DATAGYR).

Є можливість ручного введення показань регістрів лічильників і періодичний контроль даних (графіка навантаження). Використовуючи функції графічної обробки, користувач може ввести як окремі значення, так і дані за певний період.

Такі функції редагування, як «копіювання», «вирізання» або «додавання», полегшують щоденну роботу з енергетичними графіками, заявками на елект- роенергію, граничними й замінними даними.

Система DATAGYR® C2000 створює можливість здійснювати керування навантаженням і тарифами силових ліній електропередавання.

Система DATAGYR® C2000 здійснює синхронізацію всієї системи телеметричного обліку як за місцевим часом, так і за Гринвічем (UTC). Часовий сигнал приймається або від ДВ - передавача точної години, розташованого в Німеччині, або від супутників глобальної системи місцевизначення GPS.

За допомогою показань регістрів або періодичних даних (графіка навантаження) лічильників система DATAGYR® C2000 здійснює контроль за технічним станом лічильників і мережі передавання даних, а у випадку виникнення перебоїв користувача сповіщають сигналом тривоги. Поряд із функцією порівняння основного й контрольного лічильників у центральній станції є змога робити копіювання періодичних даних лічильників і порівнювати їх із даними, отриманими при зчитуванні на місці.

Тарифні зони служать підставою для тарифного розрахунку за енергію або потужність, а також для вивчення режимів використання окремими споживачами або групою споживачів.

Для визначення тарифної зони DATAGYR® C2000 надає користувачеві гнучкий універсальний інструмент.

Система DATAGYR® C2000 має безліч функцій для обчислення й аналізу періодичних даних лічильників усередині власних інтеграційних періодів або в заданому вартовому інтервалі. Типові приклади практичного використання цих функцій:

- розрахунок за перетікання енергії з іншими регіональними енергетичними компаніями;
- визначення середньої потужності й споживання електроенергії з урахуванням ліміту й тарифної години як бази для місячного розрахунку з великими промисловими споживачами;
- аналіз зібраних графіків навантаження з метою розробки тарифних моделей, статистики споживання й прогнозів навантаження.

Звітні протоколи служать для табличного подання отриманих або об'єднаних даних лічильників. Наявна можливість різноманітного подання даних створює можливість вести індивідуальний енергооблік. За бажанням звітні дані можна безпосередньо роздрукувати або передати в систему безготівкових розрахунків.

Система DATAGYR® 2000 забезпечує пряму ретрансляцію даних лічильників і результатів обчислень.

Перезапис вмісту бази даних на змінний носій інформації забезпечує користувачеві можливість надійного й необмеженого в часі їх зберігання й використання.

У системах телеметрії телефонна мережа зв'язку часто буває єдиним засобом для організації зв'язку з окремими пристроями. Тому важливо, щоб поряд з показаннями лічильників могли передаватися й режимні параметри стану. Традиційно режимну інформацію передають в повідомленнях про випадкові події, стан показань лічильників і самої системи передавання даних, які зчитують разом з даними лічильників. Деякі сигнали експлуатаційного характеру потребують безпосередньої реакції користувача. Такі пристрої на місцях, як транскодер FAG і регіональні концентратори системи автоматичного обміну вимірювальними даними AMDES (у системі AMDES зв'язок здійснюється силовими лініями електропередавання), можуть зі свого боку незалежно від циклу збору інформації проводити контроль і сповіщати центральний пункт про свій стан відразу після виникнення перебоїв і несправностей. Регіональні концентратори системи AMDES можуть приймати команди й виконувати їх через комунікаційні блоки лічильників. У такий спосіб можливо, наприклад, змінювати тарифи, приєднувати або вимикати навантаження.

Поряд з названими можливостями імпорту й експорту даних лічильників система клієнтів забезпечується також прямим доступом до вмісту ретрансляційної бази даних через стандартний інтерфейс. Інструментом для цього служать поряд зі стандартною мовою структурованих запитів SQL процедури запитів, підготовлені мовою високого рівня СІ.

9.7. Контроль якості електричної енергії

Відповідно до діючого міждержавного ГОСТу 13109-97 розрізняють такі властивості електричної енергії, як:

- відхилення напруги,
- коливання напруги,
- провал напруги,
- тимчасова перенапруга,
- несинусоїдальність напруги;
- несиметрія трифазної системи напруг,
- відхилення частоти;
- імпульс напруги.

Цим властивостям відповідають наступні показники якості електричної енергії (ПЯЕ):

- стале відхилення напруги;
- розмах зміни напруги;
- доза флікера (для мережі 0,4 кВ);
- коефіцієнт перекручування синусоїдальності кривій напруги;
- коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності;
- коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності;
- відхилення частоти;
- тривалість провалу напруги;
- імпульсна напруга;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги .

Відхилення напруги – відхилення фактичної напруги в сталому режимі роботи системи електропостачання від його номінального значення. Воно характеризується таким показником якості електричної енергії, як стале відхилення напруги.

Несинусоїдальність напруги – перекручування синусоїдальної форми кривої напруги. Дана властивість нормується коефіцієнтом перекручування синусоїдальності кривій напруги й коефіцієнтом n -ої гармонійної складової напруги.

Несиметрія напруг – несиметрія трифазної системи напруг. Вона характеризується коефіцієнтами несиметрії напруг за зворотною і нульовою послідовностями.

Відхилення частоти - відхилення фактичної частоти змінної напруги від номінального значення в сталому режимі роботи системи електропостачання. Воно характеризується однойменним показником.

Провал напруги – раптове зниження напруги нижче 90 % номінальної, за яким іде відновлення напруги до первісного або близького до нього рівня через проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Він характеризується тривалістю провалу напруги.

Імпульс напруги – різка зміна напруги, за якою іде відновлення напруги до первісного або близького до нього рівня за проміжок часу до декількох мілісекунд. Він характеризується величиною його напруги.

Тимчасова перенапруга – підвищення напруги вище 110 % номінальної тривалістю більше 10 мілісекунд, що виникає в системах електропостачання при коротких замиканнях. Вона характеризується коефіцієнтом тимчасової перенапруги.

Придатність електричної енергії за показниками якості

Одним з інтегральних показників якості електричної енергії є здатність, що обчислюється на підставі показників якості електроенергії, обумовлених ГОСТом 13109-97: здатність кожного показника якості обчислюється як відношення числа вимірів, що перебувають у нормально припустимих за ГОСТ 13109-97 межах до загального числа вимірів за звітний період. Якщо значення показника якості відповідає ГОСТ, значення здатності більше або дорівнює 0.95, якщо не відповідає - менше 0.95. Здатність за показником, що мав виходити за гранично припустиме значення, вважається рівною нулю й не відповідає вимогам ГОСТ.

Відхилення ПЯЕ від нормованих значень погіршують умови експлуатації електроустаткування енергопостачальних організацій і споживачів електроенергії, можуть привести до значних збитків як у промисловості, так і в побутовому секторі, спричиняють, як ми вже відзначали, технологічний і електромагнітний збитки.

Характерні типи електроприймачів

Від електричних мереж систем електропостачання загального призначення харчують електроприймачі (ЕП) різного призначення. Найбільш характерними типами ЕП, що широко застосовують на підприємствах різних галузей промисловості, є електродвигуни й установки електричного освітлення. Значне поширення знаходять електротермічні установки, а також вентиляльні перетворювачі, що служать для перетворення змінного струму в постійний. Постійний струм на промислових підприємствах застосовується для живлення двигунів постійного струму, для електролізу, в гальванічних процесах, при деяких видах зварювання тощо.

Електродвигуни застосовують в приводах різних виробничих механізмів. В установках, що не потребують регулювання частоти обертання в процесі роботи, застосовують електроприводи змінного струму: асинхронні й синхронні електродвигуни.

Установлена найбільш економічна область застосування асинхронних і синхронних електродвигунів залежно від напруги. При напрузі до 1 кВ і потужності до 100 кВт економічніше застосовувати асинхронні двигуни, а понад 100 кВт - синхронні, при напрузі до 6 кВ і потужності до 300 кВт - асинхронні двигуни, а вище 300 кВт - синхронні, при напрузі 10 кВ і потужності до 400 кВт - асинхронні двигуни, вище 400 кВт - синхронні.

Велике поширення асинхронних двигунів обумовлено їхньою простотою у виконанні й експлуатації та невеликою вартістю.

Синхронні двигуни мають ряд переваг у порівнянні з асинхронними двигунами: звичайно використовують як джерела реактивної потужності, їхній обертаючий момент менше залежить від напруги на затискачах, у багатьох випадках вони мають більше високий КПД. У той же час синхронні двигуни є більше дорогими й складними у виготовленні й експлуатації.

Установки електричного освітлення з лампами накаливання, люмінесцентними, дуговими, ртутними, натрієвими, ксеноновими застосовують на всіх підприємствах для внутрішнього й зовнішнього освітлення, для потреб міського освітлення тощо.

Електрозварювальні установки змінного струму дугового й контактного зварювання являють собою однофазне нерівномірне й несинусоїдальне навантаження з низьким коефіцієнтом потужності: 0,3 для дугового зварювання й 0,7 для контактної. Зварювальні трансформатори й апарати малої потужності підключають до мережі 380/220 В, могутніші - до мережі 6 - 10 кВ .

Вентильні перетворювачі в силу специфіки їхнього регулювання є споживачами реактивної потужності (коефіцієнт потужності вентильних перетворювачів прокатних станів коливається від 0,3 до 0,8), що викликає значні відхилення напруги в живильній мережі; коефіцієнт несинусоїдальності при роботі тиристорних перетворювачів прокатних станів може досягати значення більше 30 % на стороні 10 кВ живильної їхньої напруги, на симетрію напруги в силу симетричності їхніх навантажень вентильні перетворювачі не впливають .

Електрозварювальні установки можуть бути причиною порушення нормальних умов роботи для інших ЕП. Зокрема, зварювальні агрегати, потужність яких у цей час досягає 1500 кВт в одиниці, викликають значно більші коливання напруги в електричних мережах, ніж, наприклад, пуск асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Крім того, ці коливання напруги відбуваються довгостроково і з широким діапазоном частот, у тому числі й у самому неприємному для установок електричного освітлення діапазоні (порядка 10 Гц).

Електротермічні установки залежно від методу нагрівання діляться на групи: дугові печі, печі опору прямої й непрямої дії, електронні плавильні печі, вакуумні, жужільного переплаву, індукційні печі. Дана група ЕП також впливає на живильну мережу, наприклад, дугові печі, які можуть мати потужність до 10 МВт, у цей час споруджують як однофазні. Це приводить до порушення симетрії струмів і напруг (останнє відбувається у зв'язку зі спаданнями напруги на опорах мережі від струмів різних послідовностей). Крім того, дугові печі, як і вентильні установки, є нелінійними ЕП з малою інерційністю. Тому вони приводять до несинусоїдальності струмів, а, отже, і напруг.

Сучасне електричне навантаження квартири (котеджу) характеризують широким спектром побутових ЕП, які за їхнім призначенням і впливом на електричну мережу можна розділити на наступні групи: пасивні споживачі активної потужності (лампи накаливання, нагрівальні елементи прасок, плит, обігрівачів); ЕП з асинхронними двигунами, що працюють у трифазному режимі (привод ліфтів, насосів - у системах водопостачання, опалення тощо); ЕП з асинхронними двигунами, що працюють в однофазному режимі (привод компресорів холодильників, пральних машин тощо); ЕП з колекторними двигунами (привод пилососів, електродрилів тощо); зварювальні агрегати змінний і постійний токи (для ремонтних робіт у майстерні тощо); випрямні пристрої (для зарядки акумуляторів тощо); радіоелектронна апаратура (телевізори, комп'ютерна техніка тощо); високочастотні установки (печі СВЧ і тощо); лампи люмінесцентного освітлення.

Вплив кожного окремо взятого побутового ЕП незначний, сукупність же ЕП, що підключають до шин 0,4 кВ трансформаторної підстанції, впливає на живильну мережу.

Вплив якості електроенергії на роботу електроприймачів. Вплив відхилень напруги

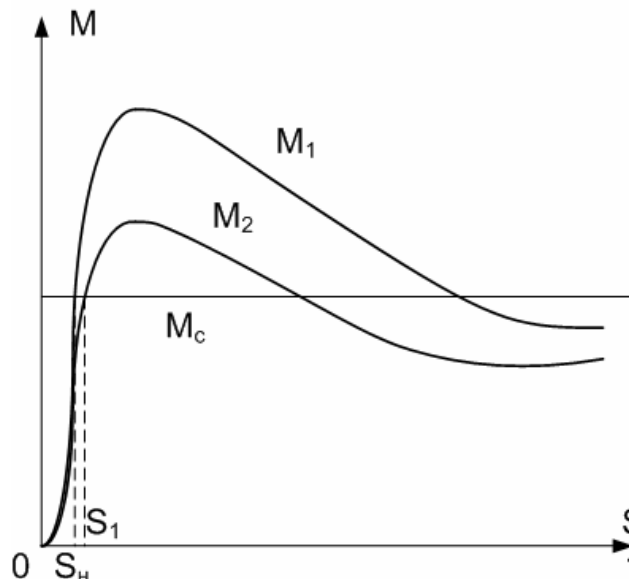


Рисунок 9.6.10 - Механічна характеристика двигуна за номінальної (M_1) і зниженої (M_2) напруг

У разі зміни напруги змінюється механічна характеристика асинхронного двигуна (АД) - залежність його обертаючого моменту M від ковзання s або частоти обертання (рис.9.6.10). З достатньою точністю можна вважати, що обертаючий момент двигуна пропорційний квадрату напруги на його виводах. При зниженні напруги зменшується обертаючий момент і частота обертання ротора двигуна, тому що збільшується його ковзання. Зниження частоти обертання залежить також від закону зміни моменту опору M_c і від завантаження двигуна.

У випадку малих завантажень двигуна частота обертання ротора буде більше номінальної частоти обертання (за номінального завантаження двигуна). У таких випадках зниження напруги не приводять до зменшення продуктивності технологічного встаткування, тому що зниження частоти обертання двигунів нижче номінальної не відбувається.

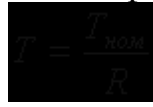
Для двигунів, що працюють із повним навантаженням, зниження напруги приводить до зменшення частоти обертання. Якщо продуктивність механізмів залежить від частоти обертання двигуна, то на виводах таких двигунів рекомендують підтримувати напругу не нижче номінальної. За значного зниження напруги на виводах двигунів, що працюють із повним навантаженням, момент опору механізму може перевищити обертаючий момент, що приводить до “перекидання” двигуна, тобто до його зупинки. Щоб уникнути ушкоджень двигун необхідно відключити від мережі.

Зниження напруги погіршує й умови пуску двигуна, тому що при цьому зменшується його пусковий момент.

Практичний інтерес представляє залежність споживаної двигуном активної й реактивної потужності від напруги на його виводах.

У випадку зниження напруги на затискачах двигуна реактивна потужність намагнічування зменшується (на 2 - 3 % при зниженні напруги на 1 %), за тієї ж споживаної потужності збільшується струм двигуна, що викликає перегрів ізоляції.

Якщо двигун довгостроково працює при зниженій напрузі, то через прискорене зношування ізоляції термін служби двигуна зменшується. Приблизно термін служби ізоляції T можна визначити за формулою:



де $T_{НОМ}$ – термін експлуатації ізоляції двигуна за номінальної напруги й номінальному навантаженні; R – коефіцієнт, що залежить від значення й знака відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна.

З погляду нагрівання двигуна більше небезпечні в розглянутих межах негативні відхилення напруги.

Зниження напруги приводить також до помітного росту реактивної потужності, що втрачається в реактивних опорах розсіювання ліній, трансформаторів і АД.

Підвищення напруги на виводах двигуна приводить до збільшення споживаної ними реактивної потужності. При цьому питоме споживання реактивної потужності росте зі зменшенням коефіцієнта завантаження двигуна. У середньому на кожний відсоток підвищення напруги споживана реактивна потужність збільшується на 3 % і більше (в основному за рахунок збільшення струму холостого ходу двигуна), що у свою чергу приводить до збільшення втрат активної потужності в елементах електричної мережі.

Лампи накалювання характеризують номінальними параметрами: споживаною потужністю, світловим потоком, світловою віддачею (що дорівнює відношенню випромінюваного лампою світлового потоку до її потужності) і середнім номінальним терміном служби. Ці показники значною мірою залежать від напруги на виводах ламп накалювання.

Зміни напруги приводять до відповідних змін світлового потоку й освітленості, що, в остаточному підсумку, впливає на продуктивність праці й стомлюваність людини.

Люмінесцентні лампи менш чутливі до відхилень напруги. За підвищення напруги споживана потужність і світловий потік збільшують, а при зниженні зменшують, але не в такому ступені як у ламп накалювання. При зниженій напрузі умови запалювання люмінесцентних ламп погіршують, тому строк їхньої служби, обумовлений розпиленням оксидного покриття електродів, скорочується як за негативних, так і за позитивних відхилень напруги.

При відхиленнях напруги на 10% термін служби люмінесцентних ламп у середньому знижується на 20 - 25%. Істотним недоліком люмінесцентних ламп є споживання ними реактивної потужності, що росте зі збільшенням напруги.

Відхилення напруги негативно впливають на якість роботи й термін служби побутової електронної техніки (радіоприймачі, телевізори, телефонно-телеграфний зв'язок, комп'ютерна техніка).

Вентильні перетворювачі звичайно мають систему автоматичного регулювання постійного струму шляхом фазового керування. При підвищенні на-

пруги в мережі кут регулювання автоматично збільшується, а при зниженні напруги зменшується. Підвищення напруги на 1 % призводить до збільшення споживання реактивної потужності перетворювачем приблизно на 1-1,4%, що приводить до погіршення коефіцієнта потужності. У той же час інші показники вентильних перетворювачів з підвищенням напруги поліпшують, і тому вигідно підвищувати напругу на їхніх виводах у межах припустимих значень.

Електричні печі чутливі до відхилень напруги. Зниження напруги електродугових печей, наприклад, на 7 % призводить до подовження процесу плавки стали в 1,5 рази. Підвищення напруги вище 5% призводить до перевитрати електроенергії.

Відхилення напруги негативно впливають на роботу електрозварювальних машин: наприклад, для машин точкового зварювання при зміні напруги на 15% виходить 100 % - не бракування продукції.

До числа ЕП, надзвичайно чутливих до коливань напруги відносяться освітлювальні прилади, особливо лампи накаливання й електронна техніка.

Стандартом визначається вплив коливань напруги на освітлювальні установки, що впливають на зір людини. Мерехтіння джерел освітлення (флікер-ефект) викликає неприємний психологічний ефект, стомлення зору й організму загалом. Це веде до зниження продуктивності праці, а в ряді випадків і до травматизму.

Найбільш сильний вплив на око людини робить мерехтіння із частотою 3 - 10 Гц, тому припустимі коливання напруги в цьому діапазоні мінімальні - менш 0,5 % .

За однакових коливаннях напруги негативний вплив ламп розжарення проявляється в значно більшій мірі, чим газорозрядних ламп. Коливання напруги більше 10 % можуть привести до загасання газорозрядних ламп. Запалювання їх залежно від типу ламп відбувається через кілька секунд і навіть хвилин.

Колівання напруги порушують нормальну роботу й зменшують термін служби електронної апаратури: радіоприймачів, телевізорів, телефонно-телеграфного зв'язку, комп'ютерної техніки, рентгенівських установок, радіостанцій, телевізійних станцій тощо.

За значних коливаннях напруги (більше 15%) можуть бути порушені умови нормальної роботи електродвигунів, можливе відпадання контактів магнітних пускачів з відповідним відключенням працюючих двигунів.

Колівання напруги з розмахом 10 - 15 % можуть привести до виходу з ладу батарей конденсаторів, а також вентильних перетворювачів.

Вплив коливань напруги на окремі приймачі електроенергії вивчені ще недостатньо. Це утруднює техніко-економічний аналіз при проектуванні й експлуатації систем електропостачання з різко перемінними навантаженнями.

Несиметрія напруг обумовлюється наявністю несиметричного навантаження. Несиметричні струми навантаження, що протікають елементами системи електропостачання, викликають у них несиметричні спадання напруги. Внаслідок цього на виводах ЕП з'являється несиметрична система напруг. Відхилення напруги в ЕП перевантаженої фази можуть перевищити нормально припустимі значення, у той час як відхилення напруги в ЕП інших фаз будуть перебувати в нормованих межах. Крім погіршення режиму напруги в ЕП при несиметричному режимі істотно погіршують умови роботи як самих ЕП, так і всіх елементів мережі, знижується надійність роботи електроустаткування й системи електропостачання загалом .

Якісно відрізняється дія несиметричного режиму в порівнянні із симетричним для таких розповсюджених трифазних ЕП, як асинхронні двигуни. Особливе значення для них має напруга зворотної послідовності. Опір зворотної послідовності електродвигунів приблизно дорівнює опорю загальмованого двигуна, отже, в 5 - 8 разів менше опорю прямої послідовності. Тому навіть невелика несиметрія напруг викликає значні струми зворотної послідовності. Струми зворотної послідовності накладають на струми прямої послідовності й викликають додаткове нагрівання статора й ротора (особливо масивних частин ротора), що призводить до прискореного старіння ізоляції й зменшенню потужності двигуна (зменшенню ККД двигуна). Так, термін експлуатації повністю завантаженого асинхронного двигуна, що працює за несиметрії напруги 4%, скорочується в 2 рази. При несиметрії напруги 5% потужність двигуна зменшується на 5 - 10% .

При несиметрії напруг мережі в синхронних машинах поряд з виникненням додаткових втрат активної потужності й нагріванням статора й ротора можуть виникнути небезпечні вібрації в результаті появи знакозмінних обертаючих моментів і тангенціальних сил, що пульсують із подвійною частотою мережі. При значній несиметрії вібрація може виявитися небезпечною, а особливо при недостатній міцності й наявності дефектів зварених з'єднань. За несиметрії струмів, що не перевищує 30%, небезпечні перенапруги в елементах конструкцій, як правило, не виникають.

У випадку наявності струмів зворотної й нульової послідовності збільшують сумарні струми в окремих фазах елементів мережі, що призводить до збільшення втрат активної потужності й може бути неприпустимо з погляду нагрівання. Струми нульової послідовності протікають постійно через заземлювачі. При цьому додатково висушується й збільшується опір заземлюючих пристроїв. Це може бути неприпустимим з погляду роботи релейного захисту, а також через посилення впливу на низькочастотні установки зв'язку й пристрою залізничного блокування.

Несиметрія напруги значно погіршує режими роботи багатofазних вентильних випрямлячів: значно збільшується пульсація випрямованого напруги, погіршують умови роботи системи імпульсно-фазового керування тиристорних перетворювачів.

Конденсаторні установки при несиметрії напруг нерівномірно завантажують реактивною потужністю фазами, що унеможлиблює повне використання встановленої конденсаторної потужності. Крім того, конденсаторні установки в цьому випадку підсилюють вже існуючу несиметрію, тому що видача реактивної потужності в мережу в фазі з найменшою напругою буде менше, ніж в інших фазах (пропорційно квадрату напруги на конденсаторній установці) .

Несиметрія напруг значно впливає й на однофазні ЕП, якщо фазні напруги нерівні, наприклад лампи накалювання, підключені до фази з вищою напругою, мають більший світловий потік, але значно менший термін служби в порівнянні з лампами, підключеними до фази з меншою напругою. Несиметрія напруг ускладнює роботу релейного захисту, веде до помилок при роботі лічильників електроенергії тощо.

ЕП з нелінійними вольт-амперними характеристиками споживають із мережі несинусоїдальні струми при підведенні до їхніх затискачів синусоїдальної

напруги. Струми вищих гармонік, проходячи елементами мережі, створюють спадання напруги в опорах цих елементів і, накладаючись на основну синусоїду напруги, призводять до перекручувань форми кривої напруги у вузлах електричної мережі. У зв'язку із цим ЕП з нелінійною вольт-амперною характеристикою часто називають джерелами вищих гармонік.

Найбільш серйозні порушення ЯЕЕ в електричній мережі мають місце при роботі потужних керованих вентильних перетворювачів.

Залежно від схеми випрямлення вентильні перетворювачі генерують у мережу наступні гармоніки струму: за 6-фазної схеми - до 19-го порядку; за 12-фазної схеми - до 25-го порядку включно.

Коефіцієнт перекручування синусоїдальності кривої напруги в мережах з електродуговими сталеплавильними й руднотермічними печами визначається в основному 2, 3, 4, 5, 7-ою гармоніками.

Коефіцієнт перекручування синусоїдальності кривої напруги установок дугового й контактного зварювання визначається в основному 5, 7, 11, 13-ою гармоніками.

Струми 3-ї і 5-ї гармонік газорозрядних ламп становлять 10 і 3 % від струму 1-ї гармоніки. Ці струми збігають по фазі у відповідних лінійних проводах мережі й складаються у нульовому проведенні мережі 380/220 В, обумовлюють струм у ньому, майже рівний току в фазному дроті. Іншими гармоніками для газорозрядних ламп можна зневажити.

Дослідження кривої струму намагнічування трансформаторів, включених у мережу синусоїдальної напруги, показали, що у випадку тристержневого осердя й з'єднаннях обмоток Y/Y і Δ/Y в електричній мережі є всі непарні гармоніки, в тому числі гармоніки, кратні трьом. Гармоніки, кратні трьом, обумовлені несиметрією струмів, що намагнічують, в фазах.

Струми намагнічування утворюють системи струмів прямої і зворотної послідовності, які за абсолютною величиною однакові для гармонік, кратних трьом. Для інших непарних гармонік струми зворотної послідовності становлять близько 0,25 струмів прямої послідовності.

Якщо на введення трансформаторів подається несинусоїдальна напруга виникають додаткові складові вищих гармонік струму. Трансформатори ГПП дають 5-у гармоніку невеликої величини.

У цілому несинусоїдальні режими мають ті ж недоліки, що й несиметричні.

Вищі гармоніки струму й напруги викликають додаткові втрати активної потужності у всіх елементах системи електропостачання: в лініях електропередачі, трансформаторах, електричних машинах, статичних конденсаторах, тому що опори цих елементів залежать від частоти.

Так, наприклад, ємнісний опір конденсаторів, установлених з метою компенсації реактивної потужності, з підвищенням частоти напруги зменшується. Тому, якщо в напрузі живильної мережі є вищі гармоніки, то опір конденсаторів на цих гармоніках виявляється значно нижче, ніж на частоті 50 Гц. Через це в конденсаторах, призначених для компенсації реактивної потужності, навіть невеликі напруги вищих гармонік можуть викликати значні струми гармонік. На підприємствах з більшою питомою вагою нелінійних навантажень батареї конденсаторів працюють погано. Вони або відключають захистом від перевантаження струмом

або за короткий строк виходять із ладу через спучування банок (або прискореного старіння ізоляції).

Вищі гармоніки викликають:

- паразитні поля й електромагнітні моменти в синхронних і асинхронних двигунах, які погіршують механічні характеристики й ККД машини. В результаті необоротних фізико-хімічних процесів, що протікають під впливом полів вищих гармонік, а також підвищеного нагрівання струмоведучих частин спостерігається:

- прискорене старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, кабелів;
- погіршення коефіцієнта потужності ЕП;
- погіршення або порушення роботи пристроїв автоматики, телемеханіки, комп'ютерної техніки й інших пристроїв з елементами електроніки;
- погрішності вимірів індукційних лічильників електроенергії, які призводять до неповного обліку споживаної електроенергії;
- порушення роботи самих вентильних перетворювачів при високому рівні вищих гармонійних складових.

Наявність вищих гармонік несприятливо позначається на роботі не тільки електроустаткування споживачів, але й електронних пристроях в енергосистемах.

Для деяких установок (система імпульсно-фазового керування вентильними перетворювачами, комплектні пристрої автоматики й ін.) припустимі значення окремих гармонік струму (напруги) вказує виготовлювач у паспорті виробу.

Для контролю якості ЕЕ в складі АСКОВЕ й АСДУ застосовують спеціалізовані прилади або лічильники ЕЕ з функціями контролю якості ЕЕ, як правило, в комплексі зі спеціальним програмним забезпеченням.

Для контролю якості за вітчизняними стандартами прилад повинен відповідати вимогам ГОСТ 13109-97. Таким вимогам з вітчизняних засобів вимірювальної техніки відповідає АНТЭС АК-3Ф, з російських - БИМ з відповідним програмним прошиванням (ТОВ НТЦ «ГОСАН») тощо.

Вироби західних фірм (найбільш якісні моделі лічильників і цифрових датчиків) дозволяють контролювати такі показники якості, як небаланс фаз, коефіцієнти гармонік, THD (Total Harmonic Distortion), але не дозволяють визначати відповідність ПЯЕ діючим стандартам.

9.8. Автоматизовані системи розрахунку з постачальниками й споживачами (білінгові схеми)

АСРС(п) — система, що поєднує функції збору, передавання, зберігання, оброблення й відображення інформації. Вона реалізує технологію розрахунків зі споживачами й забезпечує:

- ведення довідників і картотек;
- збір та оброблення інформації про споживання електроенергії;
- збір та оброблення інформації про платежі;
- ведення особових рахунків;
- підготовку статистичної звітності й аналітичної інформації;
- адміністрування й налаштування системи.

Централізована обробка й зберігання, розподілене використання даних - один з основних принципів побудови системи. Кожний користувач системи, незважаючи на своє місцезнаходження, навіть якщо за сотні кілометрів від обласного центру, має рівні можливості у використанні всіх функцій системи, а єдина інформаційна база забезпечує надійне зберігання, повноту й ймовірність інформації.

Оскільки АСРС(п) є системою для проведення комерційних розрахунків, особлива увага в ній приділяється надійності зберігання й захисту інформації. Уся інформація системи зберігається в єдиній базі даних, що працює під керуванням СУБД Oracle і розташована на центральному сервері даних. Відновлення даних користувачів здійснюється тільки через процедури, які зберігають на сервері бази даних, що унеможлиблює несанкціонований доступ до інформації навіть кваліфікованого фахівця. Система паролів, розмежування повноважень і реєстрація доступу користувачів до бази даних гарантують конфіденційність інформації.

Для забезпечення схоронності інформації при відмовах чи перебоях апаратури або програмних засобів використовують щоденне резервне копіювання інформації на резервний диск і періодичне архівування інформації на змінних носіях (наприклад, на магнітооптичних дисках).

АСРС(п) призначена для роботи в такій динамічній сфері, як роздрібний ринок електроенергії. Технічна реалізація системи забезпечує підключення нових робочих місць, перевизначення посадових повноважень, реорганізацію структури та схем розрахунку силами обслуговуючого персоналу.

Застосовані для АСРС(п) принципи побудови створюють можливість без значних витрат масштабувати систему для застосування як на малих, так і на великих енергозбутових підприємствах, що мають територіально розподілену структуру, а також поєднувати окремі системи в ієрархічні структури.

АСРС(п) - централізована система, в якій усі навантаження з керування та обробки даних лежить на сервері бази даних, а робочі станції забезпечують тільки інтерфейс користувачів з базою. Тому система висуває досить високі вимоги до сервера бази даних і не критична до робочих станцій. Сервер і робочі станції системи поєднує корпоративна мережа підприємства, створена на базі локальних обчислювальних мереж (або відособлених комп'ютерів) окремих підрозділів і об'єднаних у межах міста та області за допомогою телефонних або будь-яких інших каналів зв'язку.

АСРС(п) призначена для автоматизації діяльності персоналу підрозділів енергозбутових підприємств і забезпечує вирішення завдань проведення розрахунків із промисловими й приватними до них споживачами електроенергії.

Функції

- ведення договорів з абонентами;
- ведення довідників;
- автоматичне введення показань щодо пунктів обліку з бази даних АСКОЕ й ручне введення щодо звітів абонентів і інспекторів;
- проведення обчислень з урахуванням зонних тарифів на підставі інформації АСКОЕ, розрахунок нарахувань, пені, КРЕ, штрафів, розрахунок корисної спожитої електроенергії;
- автоматичне введення банківських електронних реєстрів платежів і

ручне введення платежів;

- рознесення платежів за видами нарахувань (за рахунками);
- ведення особових рахунків;
- облік адресних поставок;
- формування звітних документів;
- формування заявок на обсяги споживання електроенергії області;
- формування обсягів споживання електроенергії адміністративними

райо- нами області;

- формування договірних величин споживання електричної енергії й потуж- ності споживачами;
- контроль споживання електроенергії по області;
- контроль за дотриманням граничних величин споживання електроенергії по адміністративних районах;
- контроль за дотриманням договірних величин споживання електричної енергії й потужності споживачами;
- керування режимами споживання електроенергії.

Користувачі системи

- відділ розрахунку з промисловими споживачами;
- служба державної інспекції енергонагляду;
- відділ розподілу й контролю;
- керівництво.

Ведення договорів з абонентами

АСРС(п) містить усю необхідну інформацію про абонентів і платників: банківські реквізити й фізичні адреси, належність до галузей, міністерства, адміністративних районів, агентств і груп споживачів, за пунктами обліку й приладами обліку абонента, його субабоненти, схеми розрахунку й параметри споживання.

Система забезпечує багатокритерійний пошук абонента. Інформація про об'єкти обліку (споживачі, підстанції, пункти обліку), а також про абонентів, що здійснюють розрахунок з підприємством енергозбуту, представлена у вигляді деревоподібних структур.

Система електронних довідників допоможе швидко знайти необхідну інформацію. АСРС(п) містить довідники за наступними категоріями:

- населені пункти;
- вулиці;
- міністерства;
- банки;
- постачальники;
- курси валют;
- пільги;
- тарифи.

АСРС(п) забезпечує автоматичне завантаження даних з енергоспоживання з бази даних АСКОЕ й ручне введення показань за звітами абонентів або інспекторів енергонагляду. З огляду на великий обсяг обробки інформації екранні форми оптимізовані для ручного введення. При відсутності фактичних даних щодо споживання електроенергії передбачені системи нарахування витрат «за встановлену потужність» або «за середнім споживанням».

АСРС(п) здійснює автоматичний розрахунок за видами нарахувань. Під час розрахунків автоматично враховують всі особливості тарифікації конкретного абонента (узгоджені договором), при необхідності нараховують штрафи й пеню.

При обчисленні враховують: тарифні зони; споживання й генерацію реактивної енергії; категорію споживача за рівнем напруги й потужності; належність до промислового або непромислового сектора; лімітні обмеження, пільги, джерела фінансування споживача.

АСРС(п) передбачає автоматичне ведення платежів з банківських електронних реєстрів платників, реалізацію різних схем взаємозаліків, ручне ведення платежів:

- розрахунок дебіторської й кредиторської заборгованості;
- перетарифікацію витрат та облік змін на особових рахунках;
- зняття пені, КЕР, штрафів;
- аналіз стану рахунків і ухвалення рішення про застосування санкцій;
- формування інформації про боржників;
- підготовка довідок про стан рахунків за вимогами абонентів;
- формування й друкування платіжних вимог-доручень.

Статистика та звітність

АСРС(п) містить потужну систему аналізу параметрів споживання й стану рахунків абонентів для підготовки статистичних і звітних матеріалів. У системі більше сорока форм і шаблонів звітних документів, за допомогою яких за лічені хвилини може бути підготовлений будь-який звіт або відомість для подання в облдержадміністрацію, енергонагляд, регіональний або національний диспетчерські центри, дирекції, бухгалтерії або абонентам. Наявний список може бути розширений або змінений як самим замовником, так і розроблювачем за завданням замовника.

Підготовка статистичних даних формується в розрізі тарифів, галузей, районів електромереж і загалом по енергокомпанії для всіх категорій споживачів.

Автоматизована система розрахунку зі споживачами побутового сектора асрс(поб)

АСРС(поб) призначена для автоматизації діяльності персоналу підрозділів енергозбутових підприємств і забезпечує вирішення завдань щодо проведення розрахунків зі споживачами електроенергії побутового сектора. З огляду на великий обсяг ручних операцій при роботі з абонентами й контролю за платежами, форми введення АСРС(поб) спеціально адаптовані для ручного введення інформації.

Функції:

- ведення довідників і картотек;
- ведення особових рахунків абонентів;
- контроль платежів;
- розрахунок платежів;
- робота з квитанціями;
- ведення приладів обліку;
- формування звітних документів.

Користувачі системи:

- відділ розрахунку з побутовими споживачами;

- служба держінспекції енергонагляду;
- керівники енергокомпанії.

Ведення довідників і картотек:

В АСРС(поб) організовано централізоване ведення електронних довідників і картотек, які використовують операторами при вирішенні функціональних завдань системи. Система довідників і картотек включає ведення лінійних або ієрархічних довідників і класифікаторів: банків, адміністративно-територіальних одиниць з адресою.

Для роботи з особовими рахунками АСРС(поб) забезпечує виконання таких функцій:

- відкриття особових рахунків;
- переоформлення або закриття особових рахунків;
- визначення й коригування пільгових знижок;
- реєстрацію договорів з погашення заборгованості;
- перегляд особових рахунків.

Контроль платежів в АСРС(поб) проводиться вручну за квитанціями або в напівавтоматичному режимі при завантаженні електронних реєстрів платежів, які надходять із розрахункових центрів, або електронних реєстрів субсидій, що надходять із районних відділів субсидій. Форми введення оптимізовані для ручного введення інформації.

АСРС(поб) здійснює автоматичний розрахунок платежів з урахуванням тарифів, пільг, категорій споживачів, пені й виду оплати, дає змогу редагувати сплачені показання, робити розрахунок і нарахування щодо непрацюючих приладів обліку.

Частина квитанцій, що надходять у розрахунковий відділ, може містити помилки, неточності або пропуски в заповненні, що не дозволяє однозначно ідентифікувати квитанцію. З такими квитанціями в АСРС(поб) передбачений особливий режим роботи, завдяки якому можна однозначно визначити власника квитанції.

АСРС(поб) дає змогу здійснювати повний контроль за парком і рухом приладів обліку. База даних приладів обліку і їхніх власників, контроль заходів щодо установки, заміни, ремонту й перевірки лічильників з реєстрацією відповідальних осіб дає змогу заваджати крадіжкам і несанкціонованому втручанням в роботу приладів обліку.

АСРС(поб) має потужну систему аналізу параметрів споживання й стану рахунків абонентів для підготовки статистичних і звітних матеріалів. За допомогою наявних шаблонів можна за лічені хвилини підготувати будь-який звіт або відомість для подання в облдержадміністрацію, енергонагляд, дирекції, бухгалтерії й абонентам. Шаблони звітів розроблені засобами Microsoft Excel, що створює користувачеві можливість самостійно розробляти нові звітні форми. Підготовка статистичних даних формується в розрізі тарифів, категорій споживачів, районами електромереж і загалом по компанії за задані періоди години.

Нові ефективні системи розрахунків зі споживачами електроенергії

Система платежів, складовою частиною якої є лічильник, побудована на основі криптографічного методу захисту інформації й забезпечує необхідну

зручність для постачальника електроенергії й простоту використання для споживача. Розрахунки зі споживачами електроенергії можуть здійснюватися за двома схемами: у кредит і передоплатою. Передбачено можливість розширення функцій системи та її інтеграція з будь-якою існуючою системою платежів верхнього рівня.

Абонент у пункті розрахунку вносить передоплату (або одержує кредит) за якийсь (середньомісячний) обсяг кіловат-годин і одержує квитанцію з 15-розрядним кодом, що містить індивідуальну шифровану інформацію про величину внесеного платежу. Навравши код за допомогою кнопок на лицьовій панелі лічильника, абонент повинен ввести в лічильник інформацію про сплату. Лічильник автоматично розшифровує повідомлення й додає суму платежу до величини залишку, збереженого в пам'яті лічильника. Коли сплачений ліміт вичерпано, лічильник протягом контрольного рядок видає попереджувальний сигнал (блимає індикатор, звуковий сигнал). Після закінчення контрольного строку (ліміту кіловат-годин) настає автоматичне вимкнення електроенергії.

Подачу електроенергії відновлюють після сплати й введення кодової інформації в лічильник.

9.9. Інтегровані системи керування виробництвом

Є тенденція до взаємної інтеграції різних АС в енергетику з перспективою створення ІСУП. У країнах Заходу такий шлях пройшли багато галузей і існує безліч продуктів, призначених для керування діяльністю підприємства загалом. Найпоширеніша у нас назва ІСУП - ERP.

У відповідності зі Словником APICS (American Production and Inventory Control Society), термін « ERP-система» (Enterprise Resource Planning - Керування ресурсами підприємства) може вживатися в двох значеннях. По-перше, це - інформаційна система для ідентифікації й планування всіх ресурсів підприємства, які необхідні для здійснення продажів, виробництва, закупівель і обліку в процесі виконання клієнтських замовлень. По-друге (у більше загальному контексті), це - методологія ефективного планування й керування всіма ресурсами підприємства, які необхідні для здійснення продажів, виробництва, закупівель і обліку при виконанні замовлень клієнтів у сферах виробництва, дистрибуції й надання послуг.

Абревіатуру ERP використовують для позначення комплексних систем керування підприємством (Enterprise-Resource Planning - планування - ресурсів підприємства). Ключовий термін ERP є Enterprise - Підприємство, і тільки потім - планування ресурсів. Призначення ERP - в інтеграції всіх відділів і функцій компанії в єдину комп'ютерну систему, що зможе обслужити всі специфічні потреби окремих підрозділів.

Саме важке - побудувати єдину систему, що обслужить всі запити співробітників фінансового відділу і у той же час, догодить і відділу кадрів, і складу, і іншим підрозділам. Кожний із цих відділів звичайно має власну комп'ютерну систему, оптимізовану під свої особливості роботи. ERP комбінує їх усі в рамках однієї інтегрованої програми, що працює з єдиною базою даних так що всі департаменти можуть легше обмінюватися інформацією й спілкуватися один

з одним. Такий інтегрований підхід обіцяє обернутися дуже великою віддачею, якщо компанії зможуть коректно встановити систему.

ERP замінює старі розрізнені комп'ютерні системи за фінансами, керуванням персоналом, контролем над виробництвом, логістиці, складам однією уніфікованою системою, що складається із програмних модулів, які повторюють функціональність старих систем. Програми, що обслуговують фінанси, виробництво або склад тепер пов'язані разом, і з одного відділу можна заглянути в інформацію іншого. ERP-системи більшості постачальників досить гнучкі, їх можна встановлювати модулями, не здобуваючи відразу весь пакет. Наприклад, багато компаній здобувають спочатку тільки фінансові або HR модулі, залишаючи на майбутнє автоматизацію інших функцій.

ERP-система автоматизує процедури, що утворюють бізнес-процеси. Наприклад, виконання замовлення клієнта: прийняття замовлення, його розміщення, відвантаження зі складу, доставка, виставлення рахунку, одержання сплати. ERP-система «підхоплює» замовлення клієнта й служить свого роду дорожньою картою, за якою автоматизують різні кроки на шляху виконання замовлення. Коли спеціаліст вводить замовлення клієнта в ERP-систему, у нього є доступ до всієї інформації, необхідної для того, щоб запустити замовлення на виконання. Наприклад, він одразу одержує доступ до кредитного рейтингу клієнта й історії його замовлень з фінансового модуля, довідається про наявність товару зі складського модуля й про графік відвантаження товарів з модуля логістики.

Співробітники, що працюють у різних підрозділах, бачать одну інформацію й можуть обновляти її в своїй частині. Коли один департамент закінчує роботу над замовленням, замовлення автоматично переадресовують в інший департамент усередині самої системи. Щоб довідатися, де перебувало замовлення в будь-який момент часу, необхідно тільки увійти до системи й відстежити проходження замовлення. Оскільки весь процес тепер прозорий, то замовлення клієнтів виконують швидше й з меншим числом помилок, ніж раніше. Те ж саме відбувається з іншими важливими процесами, наприклад, створенням фінансових звітів, нарахуванням зарплати тощо.

Використання систем типу MRP дозволило компаніям досягти наступних результатів:

- знизити рівень запасів сировини й матеріалів на складах;
- знизити рівень запасів у незавершеному виробництві;
- підвищити ефективність виробничого циклу;
- зменшити термини виконання замовлень.

Незважаючи на високу ефективність систем MRP у них був один істотний недолік, а саме, вони не враховували в своїй роботі виробничі потужності підприємства. Це привело до розширення функціональності MRP систем модулем планування потреб у потужностях (CRP - Capacity Requirements Planning). Зв'язок між CRP і MPS дозволяв враховувати наявність необхідних потужностей для виробництва певної кількості готових виробів. Системи MRP, що мають у своєму складі модуль CRP стали називатися системами планування потреб у матеріалах замкнутого циклу (Closed Loop MRP).

В 80-х роках з'явився новий клас систем - системи планування виробничих ресурсів підприємства (Manufacturing Resource Planning). Через схожість аббревіатур такі системи стали називати MRPII.

Основна відмінність MRPII від MRP, полягає в тім, що системи MRPII призначені для планування всіх ресурсів підприємства (включаючи фінансові й кадрові).

У наслідок вдосконалення систем MRPII і їх подальшого функціонального розширення з'явився клас систем ERP. Термін ERP був уведений незалежною дослідницькою компанією Gartner Group на початку 90-х років. ERP системи, призначені не тільки для виробничих підприємств, вони також ефективно дозволяють автоматизувати діяльність компаній, що надає послуги.

Еволюція стандартів планування. Від MRPII до ERP і CSRP

Стандарти корпоративного планування, як і будь-які стандарти згодом проходять через процес еволюції. З роками у світі міняють принципи керування бізнесом і, відповідно, змінюють підходи до корпоративного планування. В останнє десятиріччя гіганти світової індустрії поширили усим світом мережу своїх вилучених виробничих і невиробничих об'єктів керування, значно ускладнилася організаційна структура самих великих компаній і холдингів. Це у свою чергу спричинило збільшення керівних витрат і витрат на підтримку складних і заплутаних логістичних структур поставок продукції. Зрештою виникла необхідність шукати методики, що дозволяють оптимізувати рішення й цього завдання. В середині 90-х був уведений в обіг термін ERP-системи. ERP-методологія дотепер належним чином не систематизована, і являє собою надбудову над MRPII, націлену на оптимізацію роботи з вилученими об'єктами керування. В цей час, під широко використовуваним терміном "ERP-система", як правило мають на увазі MRPII-систему, з розширеними можливостями роботи з мережею філій і компаній.

Для оптимізації керування логістичними ланцюжками була створена концепція SCM (Supply Chain Management), що підтримує більшість систем класу MRPII. SCM є компонентом загальної бізнес-стратегії компанії, дозволяє істотно знизити транспортні й операційні витрати, шляхом оптимального структурування логістичних схем поставок.

Однією з останніх тенденцій в бізнес-плануванні, став обіг посиленої уваги на якість обслуговування кінцевих споживачів продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горюнов А. Г. Телеконтроль и телеуправление: учебное пособие / А. Г. Горюнов, С.Н. Ливенцов, Ю.А. Чурсин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 130 с.
2. Ильин В. А. Телеуправление й телеизмерение / В.А. Ильин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 560 с.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу "Телемеханіка і автоматичні системи керування" – КДТУ, 2001 р. – 102 с.
4. Методичні вказівки «Телемеханіка і автоматизовані системи управління» до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форми навчання за напрямком 7.050301 «Електротехніка та електротехнології». Частина II. / Укл.: П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, В.В. Зінзура – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 61 с.
5. Микуцкий Г.С. Высокочастотная связь пр линиям электропередачи / Г.С. Микуцкий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 448 с.
6. Митюшкин К.Г. Телеконтроль й телеуправление в энергосистемах / К.Г. Митюшкин – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
7. Митюшкин К.Г. Телемеханика в энергосистемах / К.Г. Митюшкин – М.: Энергоатомиздат, 1975. – 352 с.
8. Соскин Э.А. Основы диспетчеризации и телемеханизации промышленных систем энергоснабжения / Э.А. Соскин – М.: Энергоиздат, 1977. – 400 с.
9. Тутевич В. Н. Телемеханика / В.Н. Тутевич. – М.: Высшая школа, 1985. – 423 с.