

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

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Методичні вказівки до самостійної роботи

СУМИ - 2026

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

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

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

СУМИ - 2026

УДК 378

Т 31

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

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

Тимошенко Г.А., завідувач лабораторіями кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Т 31 Телемеханіка і АСУ систем електропостачання: Методичні вказівки до самостійної роботи / укл.: Кравченко В.О., Лисенко В.В., Тимошенко Г.А. - Суми, 2026. – 96 с.

У методичних вказівках надано додаткову інформацію про телемеханічні системи, пристрої, які входять до їх складу, застосування телемеханіки в енергетичній галузі. Вказівки розроблені для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності G3 «Електрична інженерія»

Рецензенти:

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

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

Відповідальний за випуск:

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

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

Протокол №4 від «22» січня 2026 року

ЗМІСТ

Тема 1. Роль телемеханіки і АСУ в управлінні виробничими процесами.....	6
Тема 2. Загальні положення телемеханіки в електроенергетиці.....	13
Тема 3. Телемеханічні повідомлення та їх характеристики.....	22
Тема 4. Елементи та вузли пристроїв телемеханіки.....	33
Тема 5. Передавання сигналів у телемеханічних системах	42
Тема 6. Основи автоматизованих систем управління.....	56
Тема 7. Побудова АСУТП на основі принципів телемеханіки	77
Тема 8. Автоматизовані системи управління в енергетиці.....	85
Список джерел.....	95

Тема 1 Роль телемеханіки і АСУ в управлінні виробничими процесами

1. Технологічний процес вироблення та розподілення електроенергії
2. Телемеханіка і АСУ в електропостачанні

1. Технологічний процес вироблення та розподілення електроенергії

Електроенергетика є складовою економіки, головним призначенням якої є постачання споживачів електричною та тепловою енергією. Технологічний процес у цій галузі охоплює виробництво електричної і теплової енергії, її передачу, розподіл та кінцеве споживання.

Виробниками (постачальниками) електричної й теплової енергії вважаються власники генерувальних об'єктів, які здійснюють вироблення енергії з метою подальшої реалізації.

Мережевими організаціями є суб'єкти господарювання, що на праві власності володіють об'єктами електромережевого господарства та використовують їх для надання послуг з передачі електричної і теплової енергії, а також у встановленому порядку здійснюють технологічне приєднання енергоприймаючих установок юридичних і фізичних осіб до електричних і теплових мереж.

Споживачами електричної та теплової енергії є юридичні й фізичні особи, які отримують енергію для задоволення власних побутових і (або) виробничих потреб.

Енергозбутові (енергопостачальні) організації – це організації, основним видом діяльності яких є продаж виробленої або придбаної електричної чи теплової енергії іншим суб'єктам.

Виробництво електроенергії здійснюється на електростанціях. Залежно від виду первинної енергії основними в Україні є теплові, атомні та гідравлічні електростанції.

Теплові електростанції, що одночасно з електричною енергією виробляють теплову енергію у вигляді пари та гарячої води, називаються

теплоелектроцентралями. ТЕС і ТЕЦ працюють на вугіллі, природному газі та дизельному паливі.

Найменшу собівартість електроенергії мають гідро- та гідроакумуючі електростанції. Вони виробляють електроенергію за рахунок використання гідроресурсів. Обсяги виробництва електроенергії на ГЕС залежать від кліматичних умов і змінюються протягом року.

Вагоме господарське значення мають гідроелектростанції, збудовані на малих річках. Вони характеризуються невеликою потужністю та забезпечують електроенергією споживачів прилеглої території. В Україні функціонувало близько 60 таких станцій.

Провідну роль в електроенергетиці відіграють атомні електростанції, на яких для виробництва електроенергії використовується уран. Один кілограм урану за кількістю виділеної теплової енергії еквівалентний приблизно 2,5 тис. тонн вугілля.

До важливих елементів енергетичної інфраструктури належать високовольтні лінії електропередачі, підстанції та розподільні мережі.

Електроенергетична система є відокремленим підрозділом ДП НЕК «Укренерго», що діє відповідно до затвердженого Положення і здійснює експлуатацію магістральних та міждержавних електричних мереж на території України, а також централізоване диспетчерське управління режимами виробництва, передачі та розподілу електричної енергії в підпорядкованих регіонах.

Енергетика як система включає значну кількість ієрархічно впорядкованих елементів, об'єднаних численними інформаційними та фізичними зв'язками. Управління цією системою здійснюється на основі інформації, отриманої в контрольних точках і відображеної у показниках, документах, звітах і планах. Інформаційні дані повинні бути достовірними та в процесі функціонування системи самі виступають засобом управління.

Електроенергія як енергоносіє має низку специфічних властивостей, зумовлених її фізичною природою, що обумовлює особливості організації та функціонування електроенергетичної інфраструктури і ринку електроенергії:

- безперервність і одночасність процесів виробництва та споживання;
- неможливість накопичення електроенергії у промислово значущих обсягах;
- значні коливання попиту залежно від часу доби, днів тижня та сезону, що ускладнює прогнозування виробництва і споживання;
- високий рівень невизначеності прогнозування обсягів споживання і виробництва для окремих видів генерації;
- неможливість ідентифікації конкретного виробника електроенергії, спожитої певним користувачем;
- жорстка залежність електроенергії від мереж передачі, що обмежує напрямки транспортування і зумовлює втрати під час передавання, величина яких зростає зі збільшенням довжини ліній.

Функціонування ринку електроенергії можливе лише за умови постійного забезпечення балансу між виробництвом і споживанням, що обумовлює такі наслідки:

1. Потреба в оперативному балансуванні енергосистеми за змінного навантаження зумовлює наявність базових і маневрових генерувальних потужностей. Базові потужності працюють з постійною заданою потужністю, тоді як маневрові здатні швидко змінювати обсяги виробництва і поділяються на пікові та напівпікові.
2. Відсутність можливості створення запасів готової продукції зумовлює необхідність формування резервів генерувальних потужностей, пропускної здатності мереж і запасів палива, витрати на утримання яких включаються у вартість електроенергії.
3. Стабільна робота електрообладнання вимагає підтримання нормативних значень частоти та напруги електричного струму. Значні відхилення цих параметрів можуть спричиняти аварійні ситуації та

порушення роботи енергосистеми, тому вони нормуються і є показниками якості електроенергії.

4. Підтримання балансу потужностей із забезпеченням нормативних показників частоти та напруги потребує централізованого оперативного управління енергосистемою.

5. Територіальна прив'язаність електроенергії до мереж передачі та зростання втрат із віддаленням споживачів зумовлюють необхідність формування регіональних енергосистем як складових об'єднаної енергосистеми.

До інших характерних особливостей енергетики належать

- розділеність економічного планування та диспетчерського управління в механізмі управління;
- роз'єднаність виробничої та збутової діяльності;
- динамічність виробничих і транспортних процесів, що обумовлена великою швидкістю їх протікання та виражається у постійній зміні величини навантаження в часі;
- залежність виробництва і транспорту енергії від режиму її споживання і, як наслідок, визначальною роллю оперативно-диспетчерського керування роботою галузі та окремих підприємств;
- розбіжність за обсягом величини виробництва енергії і її транспорту в енергооб'єднаннях (транзитний характер енергобалансу);
- жорстка централізація керування виробництвом і обмежена самостійність електростанцій та мережних підприємств у прийнятті рішень;
- паралельна робота на одну транспортну мережу багатьох електричних станцій і енергооб'єднань;
- наявність великої кількості об'єктивних зовнішніх факторів, які впливають на результати виробничої діяльності;
- велика довжина та багаторівнева структура електричних мереж.

2.Телемеханіка і АСУ в електропостачанні

Основою електроенергетики України є Об'єднана електроенергетична система (ОЕС) – сукупність електростанцій, електричних і теплових мереж, інших суб'єктів електроенергетики, які об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної й теплової енергії при централізованому управлінні цим режимом. ОЕС здійснює централізоване енергопостачання внутрішніх споживачів, взаємодіє з енергосистемами сусідніх держав, забезпечує експорт та імпорт електроенергії. До її складу входять вісім регіональних електроенергетичних систем (РЕЕС): Дніпровська, Донбаська (тимчасово окупована територія), Західна, Кримська (тимчасово окупована територія), Південна, Південно-Західна, Північна і Центральна. РЕЕС пов'язані між собою системоутворюючими та міждержавними лініями електропередачі напругою 220–750 кВ.

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

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

Електроенергетична система у порівнянні з іншими енергосистемами (наприклад, газо- та водопостачання) є найскладнішою та найрозгалуженішою. Режим роботи всіх об'єктів ОЕС мають бути узгодженими між собою та перманентно забезпечувати спільні показники

роботи системи загалом: електроенергетичний баланс, високу якість електроенергії, надійність тощо.

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

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

Особливості технологічного процесу вироблення та розподілення електроенергії (ЕЕ), а відповідно організації системи телемеханіки і автоматизованих систем впливають з вимог до системи електропостачання

а) одночасність вироблення і споживання ЕЕ, що вимагає постійної підтримки кількісного балансу між її виробленням і споживанням;

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, квартальних, місячних) тощо.

Тема 2. Загальні положення телемеханіки в електроенергетиці

1. Особливості телемеханіки електричних мереж.
2. Пункт управління.
3. Контрольні пункти
4. Пристрої телемеханіки.

1. Особливості телемеханіки електричних мереж.

Телемеханіка в електроенергетиці – це складна система, до якої пред'являються особливі вимоги по ряду характеристик. На поточний момент в основу покладені наступні позиції:

1. Безвідмовність. Здатність обладнання виконувати поставлені перед нею завдання при певних умовах і в певний період. Нормування зв'язується з середнім часом між відмовами і виражається в годинах. Існують 3 класи по безвідмовності.

2. Готовність. Представлена позиція характеризується здатністю виконувати телемеханікою поставлені перед нею завдання. Виражається імовірнісною величиною, що знаходиться як відношення часу роботи до часу роботи з урахуванням простоїв.

3. Ремонтопридатність. Це можливість відновлення працездатності устаткування при виявленні відмови. Характеристика виражається величиною середнього часу на ремонт телемеханіки.

4. Захищеність. Зазначена вимога доповнює описане вище і проявляється через здатність уникати неконтрольовану або небезпечну ситуацію.

5. Достовірність. Дана характеристика в чому визначає ефективність засобів телемеханіки. Деякі помилки можуть призводити до неправильного вимірювання, що впливає на роботу обладнання та прийняття рішень обслуговуючого персоналу.

Питання автоматизації на сучасному етапі розвитку галузі стоїть актуально. Більшість розвинутих країн вкладають величезні гроші в цю сферу, створюючи комплексні мережі під назвою SmartGrid.

Остання передбачає повну автономію роботи, починаючи від транспортування електрична високої напруги на далекі відстані, закінчуючи «розумними перемикачами» для усунення пошкоджень кабельних ліній розподільних мережах. Технології дозволяють отримати переваги:

- Скорочення реальних втрат, завдяки врахуванню з паралельною передачею інформації за запитом.
- Отримання достовірних даних про реальному споживанні електричної енергії, можливість ретельного планування і контролю енергоспоживання.
- Зниження аварійності, зростання надійності. Зменшення часу усунення аварії в розподільних мережах.
- Підвищення рівня безпеки персоналу, що виражається у відсутності необхідності проведення оперативних перемикачів.

2.Пункт управління.

Система телемеханіки структурно поділяється на 2 рівні:

- верхній рівень (Пункт управління (ПУ);
- нижній рівень (Контрольований пункт (КП)).

На сьогоднішній день постійно використовуються різноманітні розгалужені мережі, наприклад, електропостачання, газопостачання, водопостачання, водовідведення та інші. Для того щоб всі ці служби могли безперебійно та якісно виконувати свої завдання, необхідно мати чітку координацію між мережами. Для підтримки такої координації використовується спеціальна служба, основу якої складають диспетчерські пункти (ДП).

Диспетчеризація - це процес централізації (концентрації) управління і контролю за усіма системами під керівництвом однієї людини – диспетчера.

За допомоги цієї людини здійснюється злагоджена робота між окремими ділянками, що становлять єдиний комплекс.

Диспетчерський пункт (ДП) – центр системи диспетчерського управління, де зосереджується інформація про стан виробництва. До складу ДП входять: операторська (зал чергувань, кабінет), де знаходиться робоче місце диспетчера; апаратна з допоміжним обладнанням; контрольно-ремонтна майстерня з черговим персоналом, який обслуговує обладнання ДП; допоміжні приміщення. Робоче місце диспетчера (оператора), диспетчерський пульт¹ та диспетчерський щит² розміщують так, щоб диспетчеру однаково добре були видно всі контрольні прилади, елементи сигналізації, екрани (табло), пристрої відображення інформації та промислового телебачення.

Диспетчерські пункти можуть бути автоматизовані в різній мірі. Залежно від ступеня своєї автоматизації, вони діляться на кілька різних типів.

1. Повністю автоматизовані системи, які не потребують диспетчерського управління, для забезпечення стабільної роботи відповідної системи.

2. Повністю автоматизований тип з дублюванням управління всіма основними агрегатами системи з ДП.

3. Часткова автоматизація системи та управління основними агрегатами тільки з диспетчерського пункту.

4. Не повністю не автоматизоване управління з ДП.

Диспетчерська служба також може розділятися на декілька видів. Основну роль грають схеми мережі. Відповідно до них розрізняють такі диспетчерські пункти:

1. Одноступінчата служба, яка має лише районний пункт – РДП, саме звідси буде здійснюватися управління всіма агрегатами і спорудами, так і мережею в цілому.

2. Двоступенева диспетчерська система. Сюди буде входити центральний ДП і місцевий ДП. МДП буде відповідати за контроль роботи місцевих споруд, а ЦДП буде координувати їх роботу між собою.

3. Триступенева система. Сюди входить центральний диспетчерський пункт, районний та місцевий.

В даний момент в державі проектування диспетчерських пунктів регламентоване рядом офіційних документів, що визначають всі норми проектування. Згідно з цими документами, усі ДП діляться на кілька видів:

1. Центральний ДП, що знаходиться поза категорій енергетичних систем;

2. Центральні ДП для енергетичних систем з 1 і 2 категорії;

3. Для 3 та 4 категорії енергосистем обладнуються окремі ЦДП;

4. ДП для електричних мереж підприємства, з обсягом обслуговування 15 тисяч умовних одиниць або більше;

5. ДП ПЕМ з обсягами обслуговування до 15 тисяч одиниць, а також додати сюди обслуговування міських і районних електричних мереж;

6. ДП для невеликих ділянок електричних мереж.

Обладнання диспетчерського пункту повинне включати в себе всі необхідні сучасні засоби контролю і управління, зв'язку, а також комп'ютерну техніку, якщо є така можливість. Техніка в цьому випадку повинна бути пов'язана з терміналами і будь-якими програмованими контролерами, наявними на основних ділянках комунікацій.

Ще одна вимога полягає в наявності всіх оперативних матеріалів. Їх обсяг прямо залежить від ступеня відповідальності пункту, тобто на ЦДП, МДП і РДП, кількість матеріалів буде відрізнятися. В такі оперативні матеріали входить:

1. Схеми всіх комунікацій, споруд і вузлів, а також засобів регулювання, якими керує диспетчер.

2. Для обслуговування диспетчерським пунктом всіх мереж, необхідно мати в наявності планшети з масштабом 1:2000. Кожен з планшетів повинен

охоплювати територію не більше 1000х1000 метрів, підконтрольну цим пунктом. На планшеті повинні бути вказані підземні магістралі, номери колодязів, споруди та інше. Тобто все, що знаходиться під контролем ДП.

3. Необхідно мати повну схему всіх комунікацій з їх характеристиками.

4. Наявність планів як поточного, так і капітального ремонту для споруд і агрегатів, а також їх графіки та режимні карти.

Приміщення, які входять до складу ДП. Сюди можна віднести наступні: безпосередньо диспетчерська кімната, де розташовуються пульти, щитова, а також стіл з комп'ютером для начальника об'єкта, тобто диспетчера. Одне з приміщень – це апаратна зі штативами, реле, випрямлячами та іншою технікою. Також пункт включає в свій склад побутові кімнати, майстерню для контролю і ремонту обладнання з кваліфікованим персоналом, акумуляторну кімнату. ДП може складатися як з усіх перелічених приміщень, так і лише з деяких. Це ж стосується і наступними засобами управління та зв'язку:

1 Радіотелефонний зв'язок, а також селекторний телефонний зв'язок.

2 Обладнання для проведення телевимірювань підконтрольних споруд та апаратів.

3 Важливо мати засоби контролю роботи споруд і пристроїв, а також сигналізують дистанційні прилади.

4 Засоби для управління підконтрольними агрегатами.

3.Контрольні пункти

Нижній рівень складається з Контрольованих Пунктів (КП) територіально розподілених відповідно до технологічного обладнання лінійної частини мережі.

Контрольований пункт - це місце розміщення об'єктів контролю та управління, а також апаратура, що виконує функції контролю та управління, зазвичай звана контролером КП.

Контрольований пункт (КП) – призначений для

- збору, перетворення та передачі інформації від первинних перетворювачів (датчиків);
- ідентифікації та формування команд управління на виконавчі пристрої об'єктів КП;
- сигналізації положення, стану та режимів роботи технологічного обладнання та допоміжних об'єктів.

Інформація від датчиків КП як нормованих електричних сигналів надходить у контролер. Контролер КП обробляє ці сигнали і передає в апаратуру телемеханіки на ПУ. На комп'ютерному екрані АРМ відображається хід всього технологічного процесу оперативного управління.

Часто під терміном КП мають на увазі один контролер, встановлений на об'єкті, що контролюється. . На великих об'єктах можуть бути кілька контролерів КП.

Контрольований пункт сучасної СТМ, крім стандартних функцій доставки інформації від аналогових і дискретних датчиків і передачі команд телеуправління, забезпечує контроль достовірності одержуваної інформації від контрольно-вимірювальних приладів та автоматики (КВП), діагностику позаштатних ситуацій за непрямими ознаками, автоматичне управління технологічним обладнанням за складними алгоритмами , керування системою захисту, керування системою енергопостачання, охоронну сигналізацію об'єкта та багато іншого.

За необхідності втручання у хід контрольованого процесу оператор видає у систему команду телеуправління. З ЕОМ команда надходить на контролер ПУ, який передає його потрібному КП. Контролер КП при отриманні команди перевіряє її достовірність, видає електричний сигнал для включення виконавчого механізму та передає на ПУ звіт про виконання команди.

4. Пристрої телемеханіки.

Пристрій телемеханіки – сукупність технічних засобів телемеханіки, які розташовані на телемеханічному пункті управління або контрольованому телемеханічному пункті.

Комплекс пристроїв телемеханіки – сукупність пристроїв пунктів керування та контрольованих пунктів, призначених для спільного застосування у телемеханічних системах.

Телемеханічна система – сукупність пристроїв пунктів управління та контрольованих пунктів, периферійного обладнання, необхідних ліній та каналів зв'язку, призначених для спільного виконання телемеханічних функцій.

Телемеханічні пристрої містять засоби кодування, передачі і приймання інформації каналами провідного та радіозв'язку. Засоби телемеханіки використовуються для телевимірювань і телекерування об'єктами енергосистем, газо- і нафтопроводів, атомних електростанцій тощо. До засобів телемеханізації належать пристрої телекерування, телесигналізації, телевимірювання, а також джерела живлення, диспетчерські пункти та пульти.

До пристроїв телемеханіки відносять:

вимірювальні перетворювачі

апаратура зв'язку,

контролери, призначені для побудови як замкнутих, так і інтегрованих в інші системи контурів керування

перетворювачі інтерфейсів (узгодження різних протоколів обміну даними)

допоміжна апаратура (розширювачі входів та виходів, перетворювачі сигналів, лічильники тощо)

1. Вимірювальні перетворювачі (ВП)

Вимірювальний перетворювач – це технічний засіб із нормативними метрологічними характеристиками, призначений для перетворення

вимірюваної величини в іншу величину або сигнал вимірювальної інформації, зручний для подальшої обробки. Призначений для уніфікації вхідних параметрів. ВП трансформують високі значення напруги та струму, а також неелектричні величини (температуру, тиск, рівень), у стандартні аналогові (наприклад, 4–20 мА) або цифрові сигнали. В основу роботи покладено принципи лінійного перетворення та гальванічної розв'язки. Сучасні інтелектуальні ВП здійснюють також первинну фільтрацію завад та аналого-цифрове перетворення (АЦП). Застосовуються як первинна ланка отримання даних на електропідстанціях, насосних станціях та в промислових мережах для контролю параметрів енергоспоживання та режиму роботи обладнання.

2. Апаратура зв'язку

Апаратура зв'язку в телемеханіці – це сукупність пристроїв, що формують лінійний тракт для передачі телемеханічної інформації від контролерів до диспетчерського пункту. Вона забезпечує надійний та достовірний обмін даними між територіально віддаленими вузлами системи в умовах впливу електромагнітних завад. Використовує методи модуляції, кодування та мультиплексування сигналів. Залежно від фізичного середовища (радіоканали, оптоволокну, ПЛЗ-зв'язок по ЛЕП), апаратура здійснює перетворення цифрового коду в сигнал, здатний поширюватися в даному середовищі з мінімальними втратами.

Застосовується для організації каналів телеуправління та телесигналізації на об'єктах критичної інфраструктури (магістральні газопроводи, залізниці, мережі високої напруги).

3. Контролери (RTU та ПЛК)

Контролери телемеханіки (Remote Terminal Units – RTU) – це мікропроцесорні пристрої, що виконують функції збору, обробки, зберігання інформації на об'єкті та реалізації керуючих впливів. Вони можуть функціонувати як у замкнутих контурах (автономне регулювання без участі оператора), так і бути інтегрованими в загальну ієрархію системи керування.

Робота контролерів базується на циклічному виконанні прикладної програми. Контролер здійснює опитування модулів вводу, логічну обробку отриманих даних згідно з заданим алгоритмом та видачу команд на виконавчі механізми (реле, приводи). Застосування: автоматизація розподільчих пристроїв, керування технологічними циклами на виробництві, реалізація алгоритмів протиаварійного захисту.

4. Перетворювачі інтерфейсів та протоколів

Перетворювачі інтерфейсів (шлюзи) – це комунікаційні пристрої, призначені для забезпечення інформаційної сумісності обладнання від різних виробників або різних поколінь. Вони призначені для узгодження фізичних рівнів передачі даних (наприклад, перехід з RS-485 на Ethernet) та логічного перетворення протоколів обміну (наприклад, конвертація Modbus RTU в міжнародний стандарт IEC 60870-5-104). Трансляція кадрів даних з одного протоколу в інший відбувається у реальному часі ("on-the-fly") або через буферизацію даних, що дозволяє інтегрувати інтелектуальні електронні пристрої (IED) у єдину мережу. Застосовуються для модернізації застарілих систем телемеханіки без повної заміни обладнання, об'єднання різнорідних підсистем у єдиний інформаційний простір.

5. Допоміжна апаратура

До допоміжної апаратури відносять периферійні пристрої, що розширюють функціональні можливості основних засобів телемеханіки. До їх складу входять:

Розширювачі входів/виходів, які дозволяють збільшити кількість точок контролю та керування через підключення до системної шини контролера.

Нормалізатори та бар'єри іскрозахисту для забезпечення безпеки роботи в агресивних середовищах та захисту електроніки від перенапруг.

Лічильники з телеметричними виходами - спеціалізовані прилади для накопичення даних про витрату енергоносіїв з подальшою передачею інтегральних значень.

Ці пристрої необхідні для оптимізації архітектури системи телемеханіки, підвищення надійності та забезпечення вимог вибухозахисту на промислових об'єктах.

Тема 3. Телемеханічні повідомлення та їх характеристики

1. Похибки телевимірювань.
2. Спотворення сигналу.
3. Крайові спотворення та дроблення.
4. Завадостійкість дискретних сигналів. Імпульсні та флуктуаційні завади.
5. Передавання сигналів в телемеханічних системах.

1. Похибки телевимірювань

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

Похибки каналу зв'язку поділяють на:

– абсолютну

$$\Delta X = X_{\Pi} - X,$$

де X_{Π} – показ приймального приладу ТВ;

X – дійсне значення вимірювальної величини, яке визначають за зразковим приладом;

– відносну

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

– відносну зведену

$$\delta' = \frac{\Delta X}{X_{\text{шк}}} \cdot 100\%,$$

де $X_{\text{шк}}$ – діапазон шкали вимірювань.

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

Додаткова похибка обумовлена впливом зовнішніх факторів – температури та вологості навколишнього середовища, зміною струму і напруги, частоти у мережі. Додаткову похибку вказують у вигляді зведених

похибок, віднесених до діапазону зміни збурення, що викликають цю похибку.

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

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

- 1) похибка трансформаторів струму та напруги – $\delta_{ТР}$;
- 2) похибка датчика – $\delta_{Д}$;
- 3) похибка передавального пристрою ТВ (датчик-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.Спотворення сигналу.

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

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

Під час передавання сигналів по каналах телемеханіки виникають спотворення сигналу, обумовлені наявністю в каналі перехідних процесів та дією завад. В результаті наявності спотворень (рис.3.1 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_{i1} , в які напруга сигналу на виході каналу обертається в нуль (у випадку двополярного сигналу). В результаті ЗМ на прийманні t_{i1} не співпадає з відповідними ЗМ на передаванні t_i . При цьому завжди має місце нерівність $t_{i1} > t_i$, оскільки внаслідок скінченного часу поширення ЗМ на прийомі запізнюється у порівнянні з відповідними ЗМ на передаванні. Якщо б усі ЗМ на прийомі запізнювалися на однаковий час, то був би простий зсув сигналу в часі без спотворення його форми.

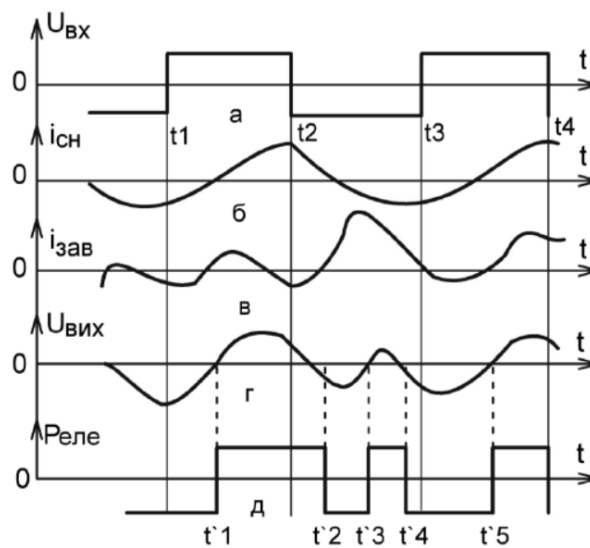


Рисунок 3.1 – Спотворення сигналу внаслідок перехідних процесів та дії завад: а) форма сигналу на вході; б) спотворюючий струм; в) завада; г) форма сигналу на виході каналу; д) форма сигналу на виході каналу

3.Крайові спотворення та дроблення.

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 РПОМ нормують наступним: для некомутованих 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} .

4. Завадостійкість дискретних сигналів. Імпульсні та флуктуаційні завади.

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

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

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

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

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

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

$$\omega(u_z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{z,ck}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u_z}{U_{z,ck}}\right)^2}$$

де $U_{z,ck}$ – середньоквадратична напруга завад.

Флуктуаційні завади характеризують величини:

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

$$n_0 = \frac{U_{з.с\kappa}}{\sqrt{\Delta F}} ;$$

- питома потужність завади – n_0^2 ;

- відношення амплітуд сигнал/завада

$$a = \frac{U_m}{\sqrt{2}U_{з.с\kappa}} ;$$

- 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.

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 $q = 1 - p$.

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 а).

За певних умов завада може перевищити встановлений рівень амплітудного сигналу ($u_3(t) > U_0$ на рис. 3.2 б), або понизити амплітуду сигналу до рівня $U_M - u_3 < U_0$ (рис. 3.2 б).

Визначимо ймовірність того, що при "0" завада досягне порогу U_0 (рис. 3.2 б) і приймач ідентифікує її як сигнал:

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

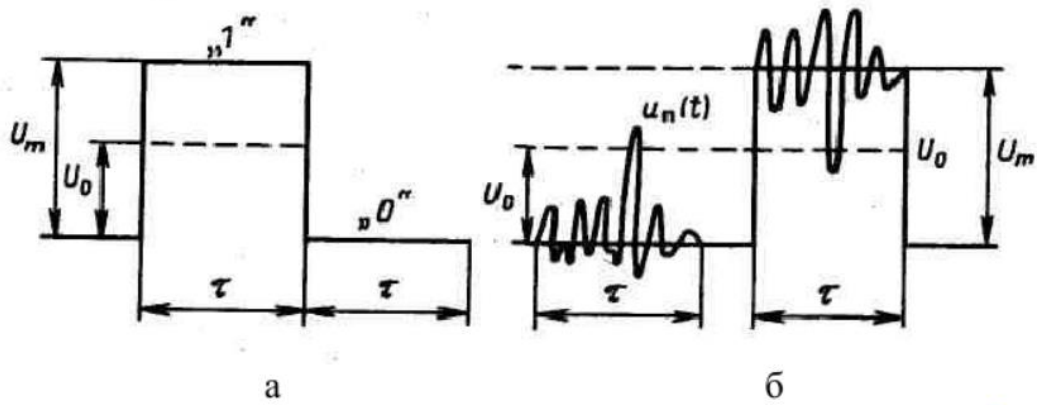


Рисунок 3.2 – Сигнал та завади в пороговому приймачі

Імовірність $p(0 \rightarrow 1)$ відповідає штрихованій зоні на графіку розподілу щільності ймовірності завади (рис. 3.3).

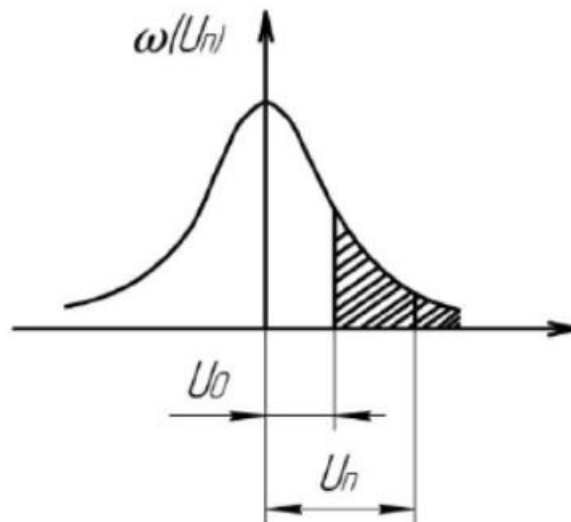


Рисунок 3.3 – Графік розподілу щільності ймовірності $p(0 \rightarrow 1)$ завади

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

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

$$p(0 \rightarrow 1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_0} \int_{-\infty}^{U_M - U_0} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{U_3}{U_{з.ск}}\right)^2} du_3$$

Крива розподілу густини ймовірності заглушення завадою сигналу, побудована за цим виразом, зображена на рис. 3.4.

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.3.5.

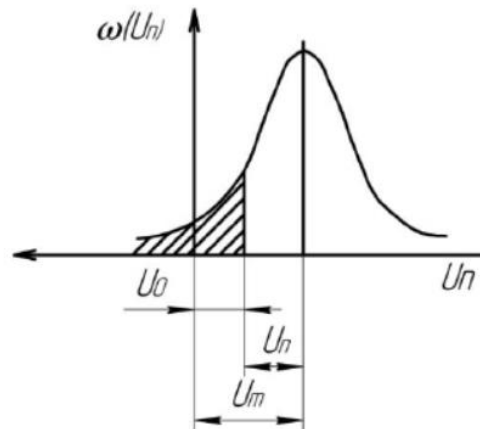


Рисунок 3.4 – Графік розподілу щільності ймовірності $p(1 \rightarrow 0)$ завади

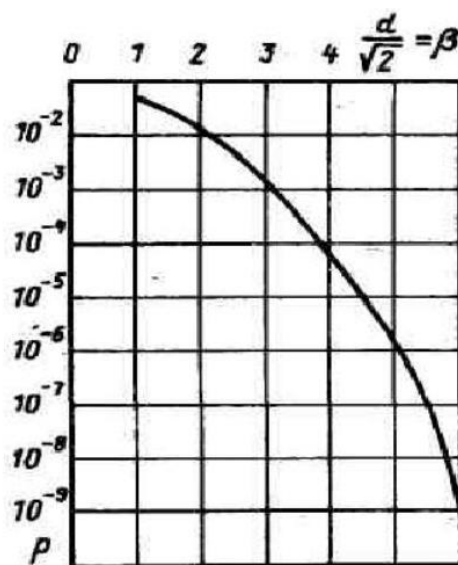


Рисунок 3.5 – Залежність p від відношення сигнал/завада

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

5. Передавання сигналів в телемеханічних системах.

Сигнали телемеханічної інформації (ТМІ) – це сукупність дискретних та неперервних сигналів, спектр яких, в загальному випадку, нескінченний. Тому, перед передаванням спектр сигналу має бути обмежений та переміщений до діапазону тональних частот. Такі перетворення здійснюють 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:

$$U = U_m \left(1 + \frac{\Delta U}{U_m} f(t) \right) = U_m (1 + m f(t))$$

де m - коефіцієнт модуляції.

Тоді модульований сигнал запишемо таким чином:

$$U = U_m (1 + m f(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

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 фазомодульованої напруги має наступний вигляд:

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

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

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

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

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

$$\varphi(t) = \omega_0 t + \Delta\varphi \int_0^t f(t)dt + \varphi_0$$

Напругу сигналу, модульованого за частотою, можна записати у вигляді:

$$U_{\text{чМ}} = U_m \cos \left[\omega_0 t + \Delta\varphi \int_0^t f(t)dt + \varphi_0 \right]$$

З аналізу виразів 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 ТМ1) 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 $B=0,75/t=0,75\Delta f$.

Тема 4. Елементи та вузли пристроїв телемеханіки

1. Регістри, розподільники і комутатори.
2. Кодоперетворювачі.
3. Компаратори.
4. Частотні селектори.
5. Мультиплексор, демультиплексор.

1. 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 мултивібраторі), у яких немає входу. Однак, в телемеханіці застосовують розподільники, на вхід яких подаються імпульси, що забезпечують почергове виникнення на виходах імпульсів (потенціалів).

На рис.4.1, а представлена структурна схема, загальна як для регістра, так і для розподільника. Тут K_1-K_n – 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 схем зв'язку СЗ.

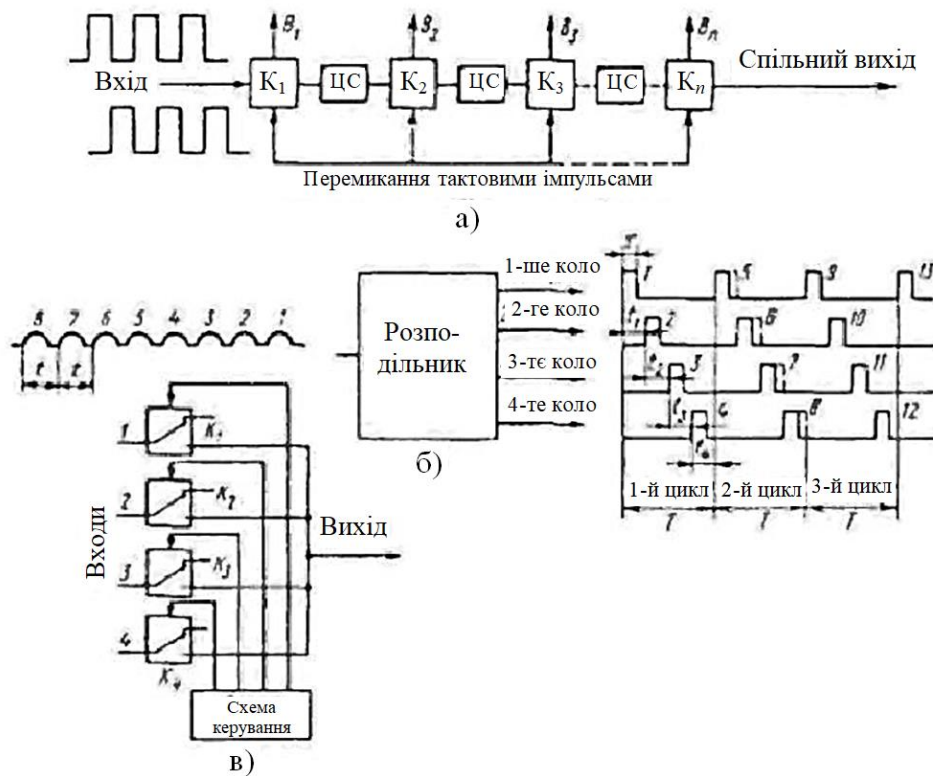


Рисунок 4.1 – Регістр, розподільник та комутатор: а) структурна схема регістра та розподільника; б) схема, що пояснює принцип дії розподільника; в) схема комутатора

Принцип дії розподільника ілюструється рис. 4.1 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 реєстр за цикл може бути записано будь-яке число одиниць, що не перевищує число осередків реєстра. Якщо цей запис проводиться тільки в перший осередок, а в наступні клітинки вона потрапляє з першої, то такі реєстри називають послідовними. Існують також реєстри, на осередки яких інформація може занісиватися одночасно (паралельні реєстри).

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

Комутатором називається пристрій, призначений для вибору і під'єднання одного з багатьох входів (виходів) тільки до одного виходу (входу). Будь-який із ключів (рис. 4.1, в) може бути замкнений за вимогою зі схеми управління, під'єднуючи тим самим обраний вхідний ланцюг до виходу схеми. Схемою управління може бути реєстр, 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.

2.Кодоперетворювачі.

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. 4.2.

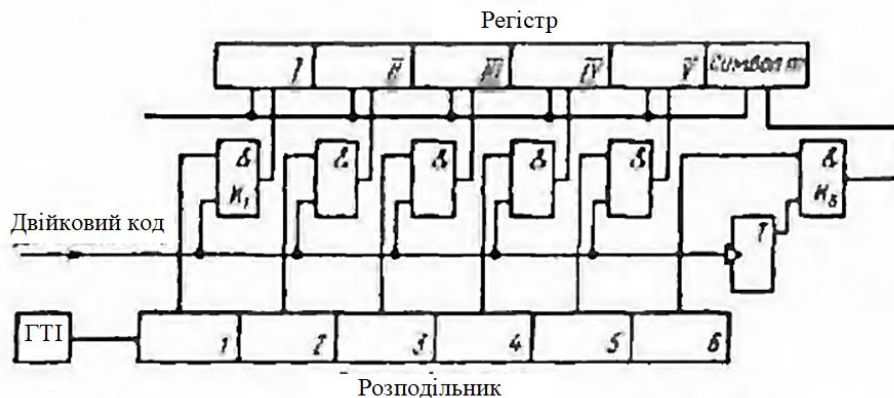


Рисунок 4.2 – Функціональна схема перетворювача двійкового кода в код з парною кількістю одиниць

3.Компаратори.

Компаратори – пристрої, що дозволяють порівняти два струму або дві напруги та визначити знак різниці між ними. Структурна схема компаратора наведена на рис. 4.3 а.

Тут U_X – вхідна напруга, яку необхідно порівняти з еталонним значенням напруги U_{ET} . Ідеальною характеристикою компаратора є характеристика типу релейної (рис. 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 $U_X = U_{\Pi}$, а у разі $U_X = U_{\Pi} \pm \Delta U$ (рис. 2 в).

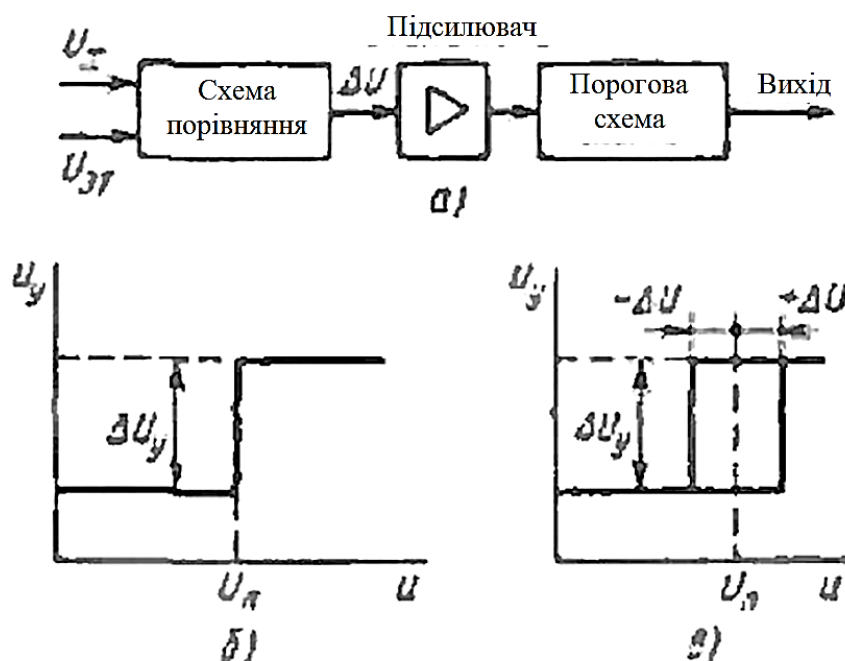


Рисунок 4.3 – Компаратор: а) структурна схема; б) ідеальна та в) реальна статичні характеристики

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.

4.Частотні селектори

Частотний селектор – пристрій, що реагує на певну частоту електричних коливань, який працює на принципі електричного або електро механічного 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.4.4 а). До індуктивності контуру через звичайний випрямляч під'єднується реле. На рис 4.4 б 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 Т в якості підсилювального елемента підвищує можливості схеми (рис. 4.4 в) Можна обійтися і без трансформатора Тр, ввімкнувши реле Р замість обмотки ω_1 .

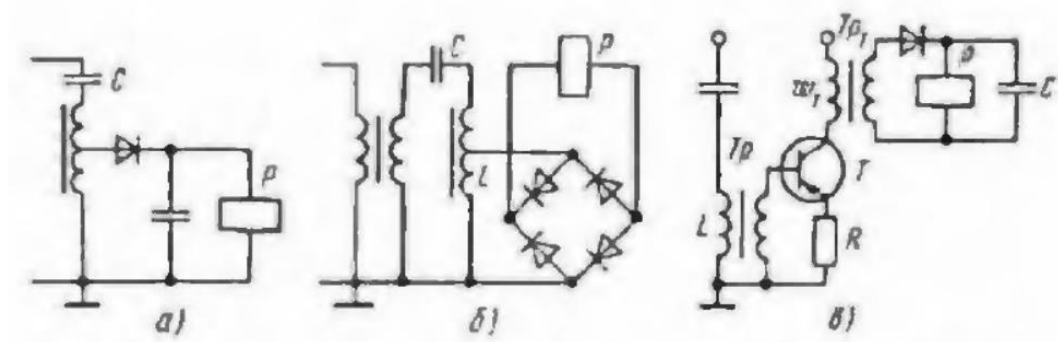


Рисунок 4.4 – Принципові схеми одночастотних селекторів з послідовним контуром: а) з однонапівперіодним випрямлячем; б) з двопозиційним випрямлячем; в) з транзистором

5.Мультиплексор, демультимплексор.

Комутатором називається функціональний вузол, призначений для комутації каналів зв'язку. Комутатори поділяються на мультиплексори і демультимплексори.

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

Мультиплексори мають дві групи входів: інформаційні і керуючі. Керуючі входи розподіляються на адресні і дозволяючі. Якщо мультиплексор має n адресних входів, кількість інформаційних входів m повинна відповідати нерівності: $m \leq 2^n$. Наприклад, за наявності у мультиплексора трьох адресних входів ($n = 3$) можна реалізувати вісім ($m = 2^3 = 8$) комбінацій адресних сигналів (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111), кожна з яких забезпечує вибір одного з $m = 8$ вхідних сигналів, тобто у мультиплексора може бути вісім інформаційних входів.

Дозволяючий вхід керує одночасно усіма інформаційними входами незалежно від стану адресних входів. Забороняючий сигнал на цьому вході блокує дію схеми у цілому. Залежно від логічної схеми забороняючим може бути сигнал як 0, так і 1. Дозволяючий вхід може бути взагалі відсутнім, але наявність його розширює функціональні можливості мультиплексора, дозволяючи синхронізувати його роботу з роботою інших схем.

Мультиплексор також може бути використаний як універсальний логічний елемент. У цьому випадку мультиплексор реалізує будь-яку логічну функцію, яка має не більше, ніж $n+1$ змінних, де n - кількість адресних входів мультиплексора.

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

Кількість виходів m відповідає нерівності $m \leq 2^n$, де n - число адресних входів.

Демультимплексор у функціональному відношенні протилежний мультиплексору. Демультимплексори у вигляді самостійних приладів не виготовляються, тому що їхні функції можуть виконувати дешифратори.

Дешифратор (декодер) - це функціональний вузол з кількома входами і

виходами, у якого кожній комбінації інформаційних вхідних сигналів відповідає активне значення тільки одного означеного вихідного сигналу. Повний дешифратор з n інформаційними входами має $m = 2^n$ виходів. На практиці часто вживаються неповні дешифратори, які декодують тільки окремі комбінації вхідних сигналів.

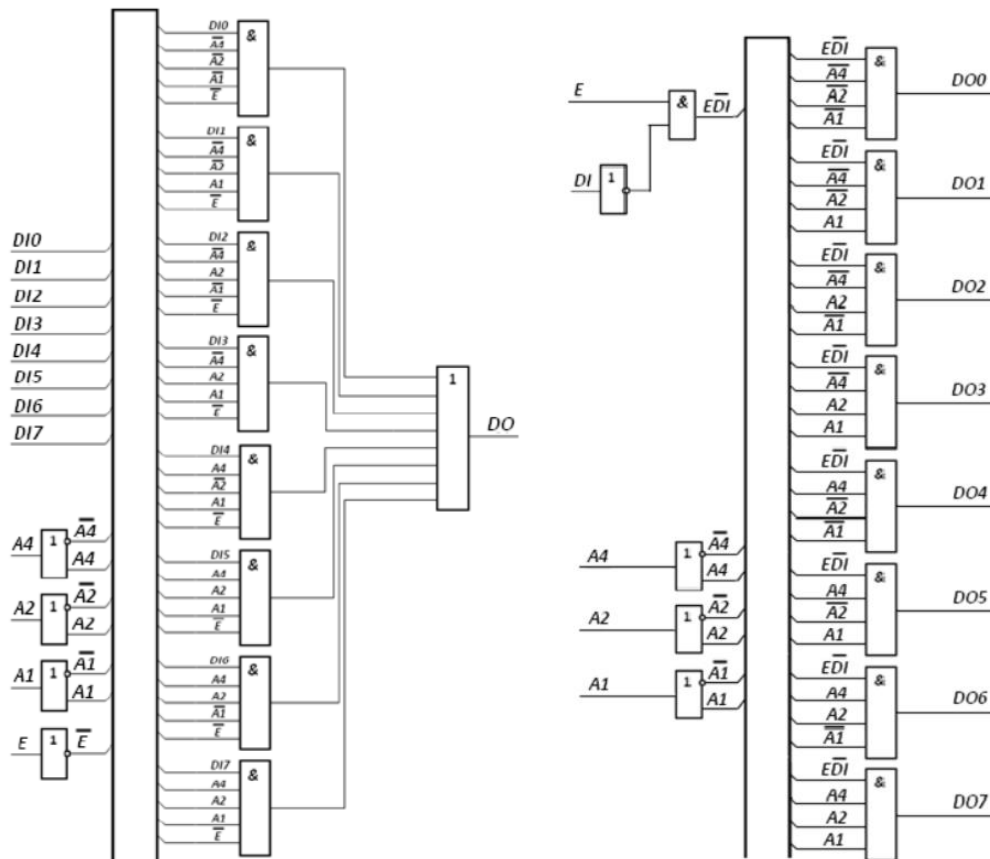


Рисунок 4.5 – Логічна структура мультиплексора "із 8 у 1" і демультимплексора

Логічна структура демультимплексора "із 1 у 8", який інвертує інформаційний сигнал DI, показана на рис. 4.5 б, де A4, A2, A1 - адресні входи (A1 - молодший розряд адресного коду), DI - інформаційний вхід, E - дозволяючий вхід, DO0...DO7 - виходи. Якщо у демультимплексора "із 1 у 8" на інформаційному вході DI підтримувати постійно потенціал (для схеми на рис. 4.5 б це 1), протилежний активному рівню, то демультимплексор буде функціонувати як дешифратор "із 3 у 8".

Між обома типами пристроїв нема принципової різниці. Дешифратор

можна розглядати як обернений за входами демультиплексор, у якого адресні входи перетворилися в інформаційні (їх іноді так і називають адресними), а колишній інформаційний вхід DI, на який подається незмінний сигнал (0 чи 1 залежно від схеми), підтримує на одному з виходів активний рівень сигналу. Таким чином, у демультиплексора сигнал на вході DI може змінюватися у часі, а у дешифратора - ні. Тому у дешифратора вхід DI може бути навіть відсутнім.

На умовних графічних позначеннях у мультиплексора вміщується символ MUX (multiplexer), у демультиплексора - DMX, у дешифратора - DC (dekoding circuit)

Тема 5. Передавання сигналів у телемеханічних системах

- 1.Стандартні кодові формати передавання інформації в системах телемеханіки.
- 2.Пристрої приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання.
- 3.Фільтри приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання.
- 4.Розрахунок ВЧ трактів по розподільчих мережах 35 ÷ 500 кВ.

1.Стандартні кодові формати передавання інформації в системах телемеханіки

Згідно стандартів МЕК в системах телемеханіки передбачають певні кодові формати див. рис. 5.1.

Кодова відстань d – характеризує на скільки одна робоча комбінація віддалена від іншої, вона дорівнює числу однойменних розрядів з відмінними символами. Чим більша d , тим важче завадам спотворити одну робочу комбінацію в іншу.

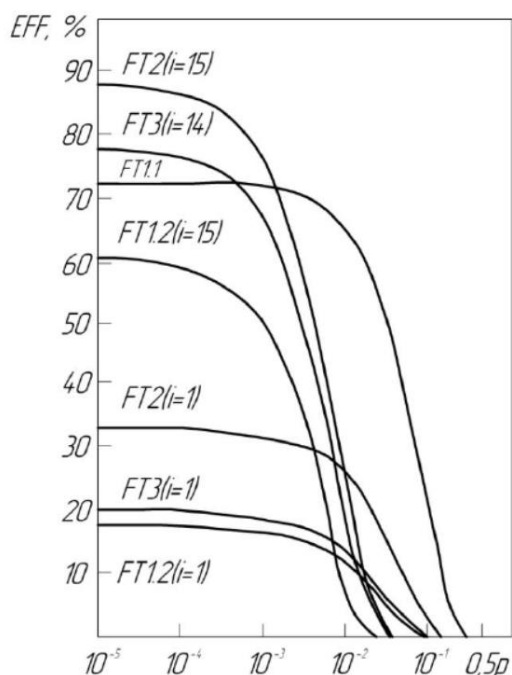


Рисунок 5.1 – Ефективність передавання кодів форматів FT1.1, FT1.2, FT2, FT3

Формат FT1.1 забезпечує відстань $d=2$, 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 $d=4$.

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

Формати FT1.2 і FT1.3 утворюють кодовими 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. Кадр формату (рис. 5.2) 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).

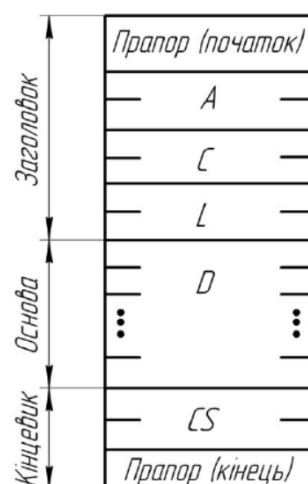


Рисунок 5.2 – Частини кадру формату HDLC

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).

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.

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.

2. Пристрої приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання

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

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

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

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

Структурна схема ВЧ зв'язку по ЛЕП показана на рис. 5.3.

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

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

ВЧ сигнали надходять від апаратури ущільнення до лінії електропередачі або з лінії на вхід АУ через пристрій приєднання (рис. 5.4), який містить: конденсатор зв'язку (КЗ), фільтр приєднання (ФП) та ВЧ (ВК) кабель

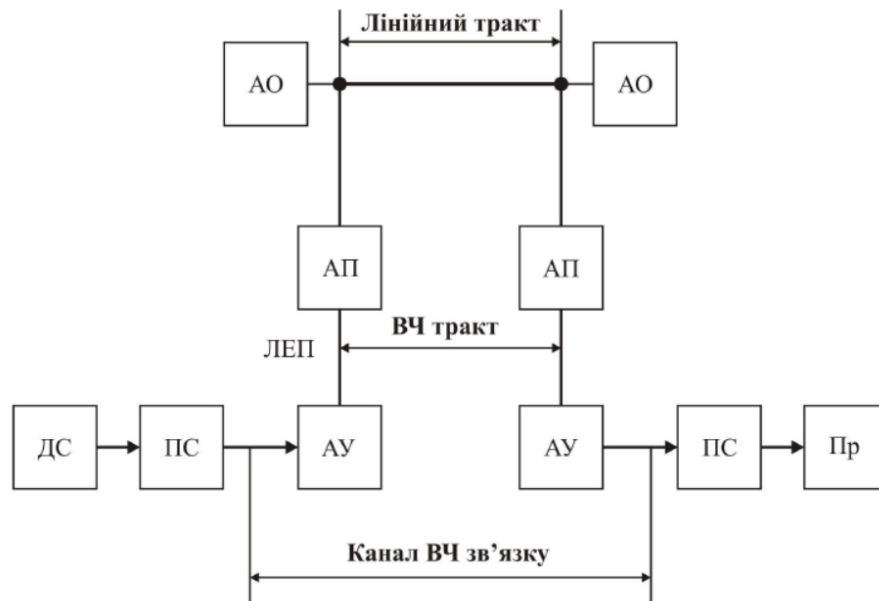


Рисунок 5.3 – Структурна схема ВЧ зв'язку по ЛЕП.

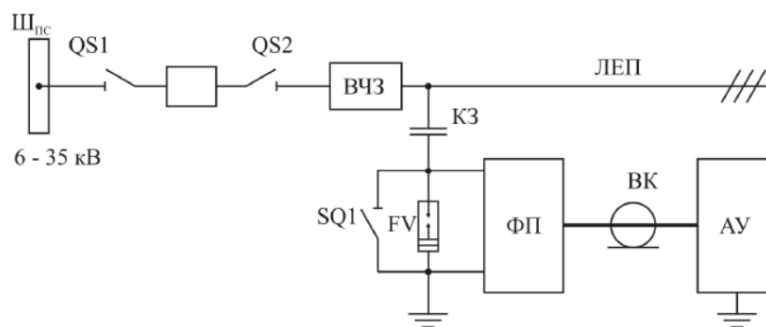


Рисунок 5.4 – Схема пристрою приєднання (ПП)

Конденсатор зв'язку призначений для підключення АУ до ліній високої напруги. Опір КЗ

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

обернено пропорційний його ємності C і частоті f напруги, прикладеної до нього. Тому реактивний опір КЗ для струмів промислової частоти значно більший, ніж для ВЧ струмів (40 – 600 кГц); це дозволяє за допомогою КЗ розділити їх та запобігти попаданню високої напруги ЛЕП на АУ.

Перенапруги, що виникають у ЛЕП, крізь КЗ потрапляють до ФП, а, отже, до ВЧ кабелю та АУ. Для захисту всіх цих елементів від перенапруги

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

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

Конденсатор зв'язку повинен мати високу електричну міцність, оскільки його пробій викличе коротке замикання на шинах підстанції. Промисловість випускає паперово-масляні КЗ у фарфорових або металевих корпусах. Найбільше розповсюдження здобули конденсатори у фарфорових корпусах серії СМР (зв'язку, масломповнені з компенсатором).

Високочастотний загороджувач

Високочастотний загороджувач (ВЧЗ на рис. 5.4) 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. 5.3).

Високочастотний загороджувач містить реактор індуктивністю L та елемент налаштування ЕН (рис. 5.5)

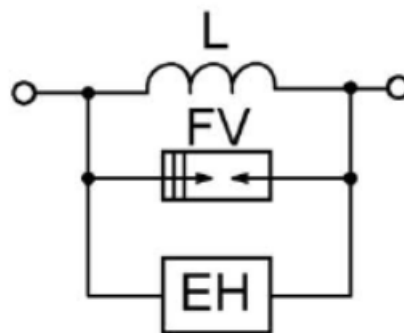


Рисунок 5.5 – Схема високочастотного загороджувача

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 вентильний розрядник FV, що включають паралельно до реактора (рис. 5.5). Розрядник захищає не тільки деталі елемента налаштування ЕН, 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. 5.6).

Резонансне одночастотне налагодження (рис. 5.6 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.

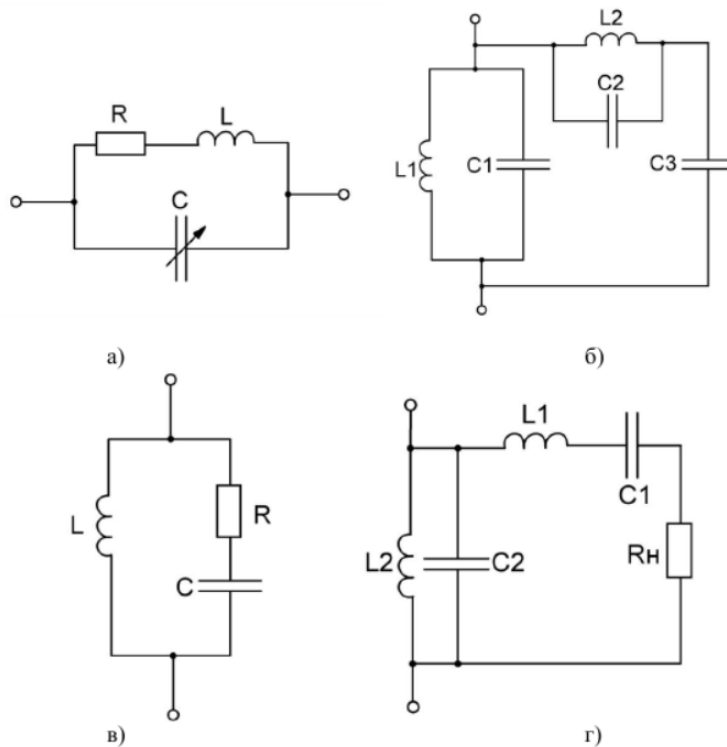


Рисунок 5.6 – Типи налагоджувальних схем ВЧЗ: а - резонансне одночастотне; б - резонансне двочастотне; в - резонансне притуплене; г - широкосмугове налагодження

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. 5.6, б. У цій схемі два резонансних контури L_1C_1 і L_2C_2 налагоджують на верхню резонансну частоту. 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. 5.6 в зображено схему

одночастотного притупленого налагодження (R – резистор, що притупляє пік резонансної кривої).

Широкосмугове налагодження (рис. 5.6 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: Н – низькочастотну та В – 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 ізольованих дротах розщеплених фаз.

3.Фільтри приєднання високочастотної апаратури до ліній електропередавання

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

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

При обриві кола обмотки ФП на нижній обкладинці КЗ з'являється фазна напруга по відношенню до землі. Тому всі перемикання у колах обмотки ФП проводять при увімкненому заземлюючому ножі SQ1 (рис. 5.7).

При розгляді електричних характеристик ПП під ФП завжди розуміють схему фільтра, яка вміщує КЗ. При малих значеннях ємності конденсатора зв'язку доцільне застосування компенсаційних пристроїв, оскільки за їх

допомогою на декількох фіксованих частотах можна здійснити приєднання з меншим загасанням, ніж у випадку смугового налаштування. При великих значеннях ємності КЗ застосування компенсаційних пристроїв недоцільно. У теперішній час ФП за схемою компенсаційних пристроїв для приєднання до ЛЕП 110 кВ і вище застосовують рідко.

ФП за схемою смугового фільтра може виконуватися за повною Т-подібною схемою (рис. 5.8, а) або за схемою Г-подібної напівланки (рис. 5.8, б). У наведених пристроях трансформатор Т виконує функції узгоджувача трансформатора.

Використовуються також трансформаторна (рис. 5.8, в) та автотрансформаторна (рис. 5.8, г) схеми ФП. Дані схеми не містять окремого узгоджувача трансформатора, оскільки узгодження опорів ЛЕП та ВК здійснюється вибором співвідношення між індуктивностями L_1 і L_2 , та коефіцієнтом магнітного зв'язку M між ними (для схеми рис. 5.8, в)

ФП характеризується наступними параметрами:

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

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

Фільтр приєднання серії ФПУ призначений для роботи з усіма типами КЗ ємністю $C_{кз}=2140-17500$ пФ для ЛЕП усіх класів по напрузі від 35 до 750 кВ. У більшій частині частотних діапазонів ФП виконані за трансформаторною схемою. На окремих широкосмугових діапазонах, особливо при великих значеннях ємності КЗ, використовується

автотрансформаторна схема. Конструктивно ФП виконаний у металевому корпусі, призначеному для кріплення на опорі під КЗ.

Фільтр серії УФП-66М призначений для роботи на ЛЕП 35-110 кВ, але в окремих випадках використовується на ЛЕП 6, 10 та 25 кВ. Завдяки конструктивним особливостям фільтра може утворюватись велика кількість модифікацій, які дозволяють створювати ФП при $C_{кз} = 1000-35000$ пФ у смузі частот 14-600 кГц. Внаслідок того, що узгоджувачий трансформатор володіє суттєвою нелінійністю, даний фільтр не рекомендується використовувати для багатоканальних систем інформації.

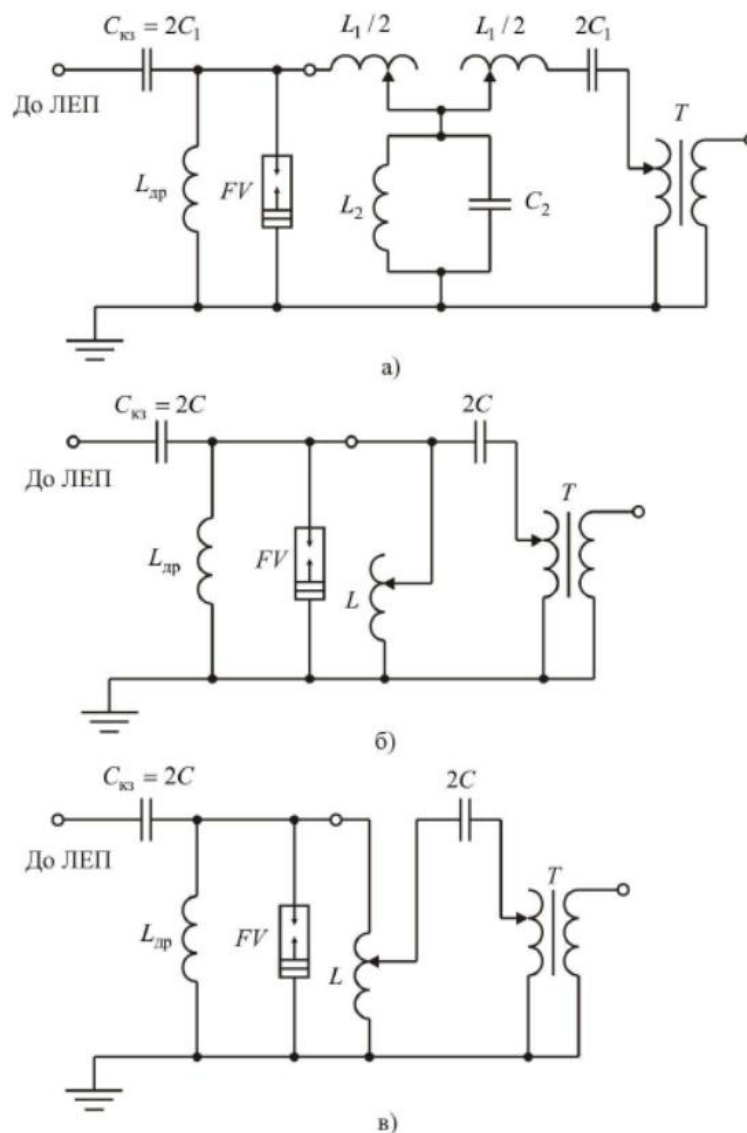


Рисунок 5.7 – Принципові схеми фільтра УФП-66М.

а) смуговий фільтр; б) фільтр верхніх частот; в) автотрансформаторний фільтр.

Фільтр УФП-66М може бути зібраний за схемою смугового фільтру (СФ), фільтру верхніх частот (ФВЧ) або за автотрансформаторною схемою (АТ) (рис. 5.7). Елементом цих схем є конденсатор зв'язку.

Трансформатор Т в цих схемах виконує функції узгоджувача трансформатора.

Захист фільтру здійснюється заземлюючим дроселем з індуктивністю $L_{др} = 50 \text{ мГн}$ з власним резонансом на частоті 378 кГц та розрядником FV на пробивну напругу $1,5 \text{ кВ} \pm 20 \%$.

У деяких випадках використання КЗ для приєднання АУ до ЛЕП небажано внаслідок високої вартості або великих розмірів та маси цих конденсаторів. Практично неможливе використання КЗ при приєднанні пересувних та переносних апаратів, що застосовуються ремонтною бригадою для зв'язку з підстанцією.

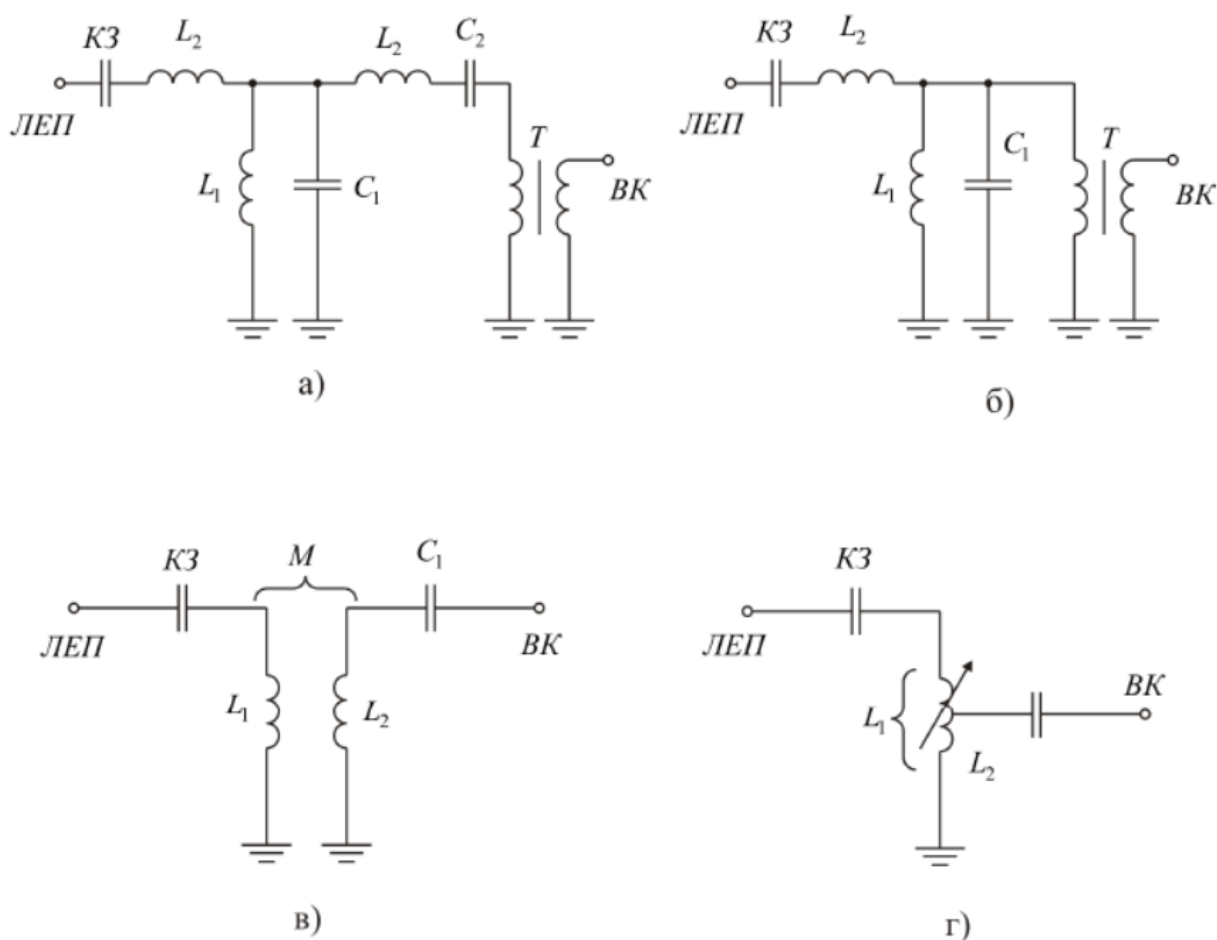


Рисунок 5.8 – Схеми фільтрів приєднання

Простим та дешевим способом приєднання в цих випадках є зв'язок АУ з лінією через антену 1 (рис. 5.9), являє собою дрiт довжиною l , який підвішений паралельно лінії на деякій відстані від неї.

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

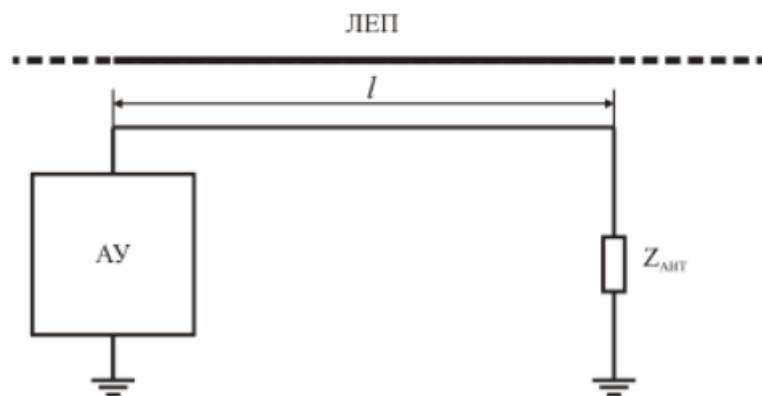


Рисунок 5.9 – Схема приєднання АУ до ЛЕП через антену

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

Високочастотний кабель (ВК) слугує для зв'язку АУ з ФП. Навантаженням ВК є входні опори ФП та АУ. Входний опір ФП може значно змінюватись залежно від частоти. Входний опір ВК дорівнює хвильовому опору кабелю та опору навантаження при увімкненні кабелю на узгоджене навантаження. Якщо входний опір фільтра ФП або входний 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 в кабелі.

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

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

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

Для вибору частот необхідні наступні вихідні дані:

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

Вибір частот здійснюють наступним чином:

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

Тема 6. Основи автоматизованих систем управління

1. Надійність і безпека, показники призначення й функціональність. режим експлуатації, захист інформації;
2. Математичне забезпечення АСУТП
3. Програмне забезпечення АСУТП. Рівні мов програмування та їх характеристика.
4. Інформаційне забезпечення АСУТП.
5. Організаційне забезпечення АСУТП.
6. Технологія проектування АСТП

1. Надійність і безпека, показники призначення й функціональність

Під надійністю й безпекою автоматизованої системи управління розуміється її захищеність від випадкових або навмисних втручань у нормальний процес її функціонування. Випадкові або навмисні втручання у нормальний процес функціонування АСУ виражаються в крадіжці або зміні інформації (програмна надійність), а також у порушенні її працездатності через відмови (апаратна надійність).

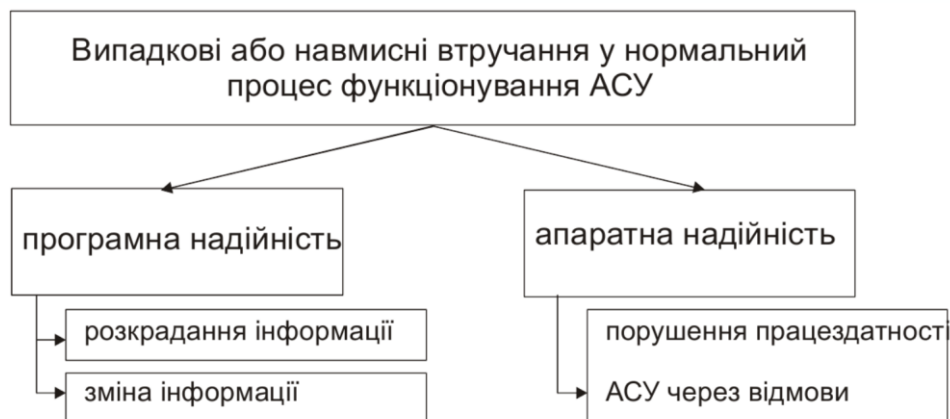


Рисунок 6.1 – Надійність і безпека АСУ

Апаратна надійність технічних засобів автоматизованих систем управління визначається властивостями, що включають у себе поняття, надані на рис. 6.2, а під програмною надійністю й безпекою автоматизованої системи управління розуміється її захищеність від випадкових або навмисних

втручань у нормальний процес її функціонування, що виражається в розкраданні або зміні інформації.

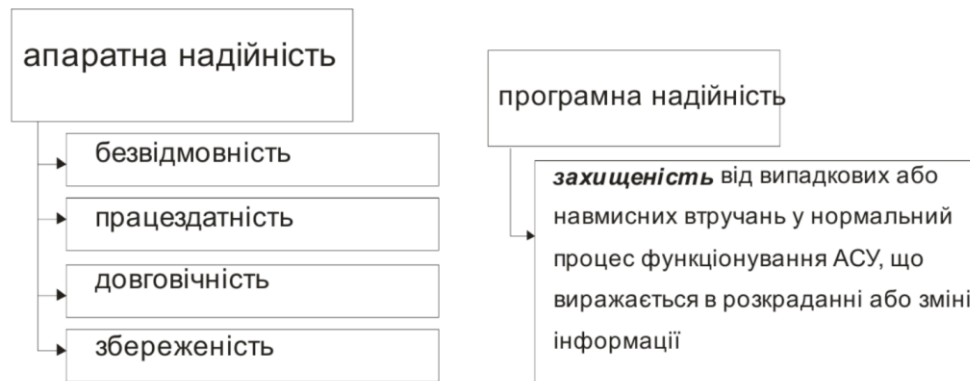


Рисунок 6.2 – Надійність АСУ: апаратна та програмна

Економічна ефективність автоматизованої системи управління визначається рівнем її апаратної й програмної надійності.

Зниження надійності приводить як до змушених простоїв, так і до аварійних ситуацій. Підвищення надійності збільшує вартість системи й витрати на її експлуатацію.

Економічно доцільний рівень надійності вибирається порівнянням схожих за структурою й функціями варіантів (критерій оптимізації надійності).

Надійність технічних засобів системи визначається властивостями:

Безвідмовність - властивість системи зберігати свою працездатність без вимушених перерв протягом деякого періоду часу, оцінюваного наробітком (тривалість й обсяг виконаної роботи до першої відмови).

Працездатність - такий стан системи, при якому вона нормально виконує задані функції із заданими технічною документацією параметрами.

Ремонтопридатність - пристосованість системи до попередження, виявленню й ліквідації відмов.

Ремонтопридатність характеризується витратами часу й засобів на відновлення системи після відмови й на підтримку системи в працездатному стані.

Довговічність - властивість системи до тривалої експлуатації при необхідному технічному обслуговуванні й ремонті.

Довговічність системи вимірюється її ресурсом (наробіток до граничного стану) і терміном служби (календарна тривалість експлуатації до граничного стану)

Збереженість – властивість системи (і складових її елементів) зберігати свої параметри незмінними за певних умов (коливаннях температури, дії вологості, вібраціях і т.п.) і строках зберігання й транспортування.

Граничний стан системи визначається неможливістю її подальшої експлуатації з ряду:

- відбулася відмова, після якого відновлення неможливо або недоцільно;
- з міркувань безпеки;
- через низьку економічну ефективність подальшого використання.

Для забезпечення надійної роботи всієї системи вводиться поняття надмірності системи.

Розділяють структурну й інформаційну надмірність.

Структурна надмірність визначається наявністю додаткових шляхів передачі сигналів (при відмові одного з елементів його функції виконує інший елемент), які не потрібні при нормальній роботі.

Інформаційна надмірність визначається наявністю в сигналі додаткової інформації, що не потрібна при нормальній роботі всіх елементів, а використовується лише при виникненні відмови.

Введення надмірності збільшує надійність системи за рахунок підвищення безвідмовності.

Підвищення ремонтпридатності досягається застосуванням уніфікованих блокових конструкцій, пристроїв діагностики й індикації відмов.

Надійність АСУ в основному визначається сполученням властивостей безвідмовності й ремонтпридатності.

2. Математичне забезпечення АСУТП

Під математичним забезпеченням АСКТП розуміється сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів, що використовуються при розробці та функціонуванні таких систем. У міру розвитку застосування обчислювальної техніки в АСКТП їх математичне забезпечення разом з побудованим на його основі програмним забезпеченням набуває все більшого значення і стає порівнянним, а іноді і перевищує по вартості комплекс використовуваних технічних засобів.

Управління об'єктом включає в себе комплекс операцій, необхідним для формування відповідних цілеспрямованих впливів на керований об'єкт, а саме операції контролю (отримання інформації), аналізу (вироблення і прийняття рішень) і виконання (реалізація керуючих впливів). Операції отримання інформації та реалізації керуючих впливів в більшості випадків виконуються в АСКТП автоматично, за допомогою засобів технічного забезпечення. Що ж стосується операцій вироблення і прийняття рішень по управлінню, то, як правило, перш ніж вибрати спосіб їх реалізації, необхідно знайти оптимальний (або хоча б раціональний) алгоритм їх виконання. Для цього кожен задачу управління треба сформулювати математично.

Математичне формулювання будь-якої задачі оптимального управління включає в себе два елементи: математичну модель об'єкта і критерій управління. Під математичною моделлю розуміють систему математичних співвідношень, що описують поведінку об'єкта управління і ті умови (збурення, обмеження тощо), в яких він працює. Для представлення моделі в аналітичній формі необхідно знати фізичну природу керованого об'єкта, його структуру та конструктивні особливості. Модель завжди в тій чи іншій мірі наближених і може не враховувати ряду тонких явищ, що відбуваються в об'єкті, і в той же час може з успіхом використовуватися для визначення керуючих впливів при різних сукупностях значень параметрів об'єкта. Це можна зробити як в темпі з ходом процесу, так і в режимі випереджаючого

аналізу, оскільки велику швидкодію сучасних обчислювальних машин дозволяє провести відповідні випереджальні розрахунки.

Якщо характеристики керованого об'єкта схильні до змін, то відповідність моделі об'єкту має безперервно перевірятися і уточнюватися на основі інформації про стан об'єкта. Модель закладається в обчислювальну машину (тобто зберігається в її запам'ятовуючому пристрої у вигляді програми). Користуючись моделлю, можна випробувати різні управляючі дії, отримати і зафіксувати реакції моделі на ці впливи, а потім вибрати ті з них, які найбільшою мірою задовольняють оптимальному критерію.

Обчислювальні комплекси, що входять в АСУ, накопичують інформацію про керований процесі у вигляді сукупності значень вимірюваних параметрів, відомостей про стан устаткування та іншу і переробляють її для вироблення управляючих впливів. Переробка інформації в ОК здійснюється за алгоритмами, які відображають технологічну інструкцію ведення процесу. В інструкції сказано про те, яким чином, володіючи інформацією про процес, отриманої на основі вимірів, і знаючи всі обмеження, що накладаються на процес, вибрати доцільні управляючі дії в різних виробничих ситуаціях. Кожен алгоритм, виконуваний ОК, приблизно відповідає тим міркуванням і обчислень, які мав би справити сам оператор. За відсутності обчислювальної машини. Такий алгоритм-інструкція, виражений на формальній мові математичних формул і логічних умов, визначає послідовність дій, кожне з яких відповідає виконанню обчислювальною машиною (або іншими технічними засобами) певної елементарної операції. Такими операціями є додавання, віднімання, логічне додавання, множення та ін.

Послідовність дій не довільна, а реалізує той чи інший метод розв'язання задачі. Цей метод іноді може бути спочатку заданий у вигляді математичної формули, іноді в словесній (описовій) формі, іноді у вигляді ланцюжка логічних умов. У всіх випадках він повинен бути сформульований настільки точно і чітко, щоб не залишалося місця для різних тлумачень і

двозначностей, щоб завжди після кінцевого числа елементарних операцій був отриманий певний чисельний або логічний (дискретний) результат. Якщо ці умови виконуються, то інструкція по вирішенню задачі, виражена на формальній мові математичних формул і логічних умов, називається алгоритмом розв'язання даної задачі.

Стосовно до АСК говорять про алгоритми управління. Алгоритм управління - це теж формальна інструкція, в якій йдеться про те, як треба обробити інформацію про керований процес, щоб отримати доцільні керуючі впливи. Алгоритм управління, що відображає загальну мету системи управління, досить складний і може бути розчленований на велике число під-алгоритмів, відповідних окремим задачам (функціям) системи управління. Ці під-алгоритми пов'язані між собою так, що в певних виробничих ситуаціях «працюють» окремі ланки загального алгоритму. Таким чином, безліч окремих алгоритмів функціонує не у фіксованій послідовності (один за іншим) і не хаотично, а вибудовується в різні ланцюжки в залежності від мінливої виробничої ситуації.

Сукупність матеріалів, що відображають алгоритм вирішення задачі, має дві спрямованості. По-перше, вона фіксує ідейні аспекти: задум і метод розв'язання задачі і, по-друге служить завданням на наступний етап деталізації алгоритму - етап перетворення прийнятої сукупності в комплекс взаємодіючих програм ЕОМ.

3. Програмне забезпечення АСУТП. Рівні мов програмування та їх характеристика

Програмне забезпечення АСК ТП являє собою сукупність програм, що забезпечує реалізацію всіх функцій системи, задане функціонування технічного забезпечення АСК ТП і передбачений розвиток системи. Під програмою розуміють конкретну реалізацію машинного алгоритму для вирішення будь-якої задачі. Програмне забезпечення АСК ТП описують із різним ступенем докладності залежно від того, хто буде користувачем цього

опису. Для оперативного персоналу АСК ТП, особливо для операторів-технологів (які не мають навичок у програмуванні) немає необхідності в детальній докладності опису програм. Для операторів-технологів достатньо мати уявлення про роботу відповідної апаратури і виконання програм на так званому "логічному рівні", коли спеціалісти оперують замість фізичного опису будь-яких явищ їх логічними аналогами. Тому на логічному рівні в спрощеній функціональній схемі МПК умовно виділяють три частини: устаткування виконання програм, програми, дані.

При такому спрощенні призначення МПК зводиться до перетворення даних, які умовно розділяють на локальні - для однієї програми і глобальні - загальні для декількох програм або навіть для всіх програм конкретної АСК ТП. Характерними прикладами даних служать числа або тексти. Та частина МПК, яка умовно віднесена до програм, містить (зберігає) набори команд, які описують послідовність дій над даними для досягнення поставленої цілі. Іншими словами, програма - це послідовність команд, які необхідно виконати для реалізації заданого алгоритму обробки даних.

Якщо програма реалізує деяку функцію АСК ТП, таку програму називають функціональною. Устаткування виконання програм МПК послідовно виконує одну за одною команди програм. Ці команди "примушують" вводити дані з відповідного устаткування (клавіатури, дисплею, передавального перетворювача тощо), виконувати потрібні перетворення даних і здійснювати їх вивід на різноманітне устаткування (виконавчі механізми, дисплей тощо). Для опису послідовності команд використовують спеціальні мови програмування, які для конкретних МПК можуть бути індивідуальними.

Програмі АСК ТП, незалежно від мови програмування, притаманні наступні три характерні особливості.

Перша з них та, що для кожної програми АСК ТП (в першу чергу - функціональної) існує регламент її виконання, який включає один або декілька з наведених нижче чотирьох режимів виконання програми:

- 1) періодичне включення програми за часовим інтервалом (Т);
- 2) включення програми в певний час доби;
- 3) включення програми за вимогою іншої програми;
- 4) включення програми за вимогою оператора-технолога.

Другою характерною ознакою програм АСК ТП є їх масовість і численність. Через те, що включення в роботу кожної програми виконується за своїм регламентом, бувають випадки, коли одночасно декілька програм будуть вимагати свого виконання. У цьому разі устаткування виконання програм залежно від значущості (пріоритету) програм в першу чергу виконує ту програму, яка в цей момент головніша (її пріоритет більший).

Третьою особливістю програм АСК ТП є те, що для їх зберігання використовують декілька видів пам'яті: устаткування для постійного запам'ятовування (УПЗ), устаткування для оперативного запам'ятовування (УОЗ), магнітні диски, дискети тощо. Їх відмінність полягає в тому, що устаткування виконання програм витрачає суттєво різний час на виконання програм, які зберігаються в устаткуваннях запам'ятовування різних видів.

Поняття "програмне забезпечення (ПЗ) в АСК ТП" охоплює сукупність усіх програмних засобів, які беруть участь у функціонуванні системи.

Вище було зазначено, що устаткування виконання програм виконує не тільки команди, а на нього також покладене виконання, по-перше, задач, які зв'язані з виконанням великої кількості "функціональних програм" за відповідними регламентами, і, по-друге, - функцій підготовки даних для обробки. Вказані функції в сучасних системах реалізовані "програмно" і являють собою частину ПЗ АСК ТП, яку умовно поділяють на два блоки: "керування програмами" і "керування даними". Блок "керування програмами" фактично організує виконання і взаємодію всіх програм ПЗ АСК ТП. Блок "керування даними" організує зберігання "даних" у відповідних устаткуваннях запам'ятовування і видає "функціональним програмам" "дані" у відповідній формі. Другою частиною є програми зв'язку оператора-технолога (ОТ) із блоками "керування програмами" і "керування даними", до

яких ставляться різноманітні вимоги для зручного спілкування оператора-технолога із МПК.

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

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

- програма-диспетчер, яка оперативно координує роботу окремих програм, організує черги різних програм;

- програми керування окремим устаткуванням МПК;

- службові програми для формування таблиць, розпечатування результатів розрахунків тощо;

- стандартні підпрограми для обчислення функцій, які часто зустрічаються (наприклад, логарифмів натуральних, синусів тощо);

- транслятори з алгоритмічних мов;

- тести для перевірки і діагностики всіх пристроїв МПК в неперервному і періодичному режимах.

Спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) АСК ТП - це частина програмного забезпечення, яку розробляють при створенні конкретних АСК ТП для реалізації інформаційних і керуючих функцій. Його створюють на базі ЗПЗ. Роботи по створенню СПЗ є продовженням і розвитком робіт з алгоритмізації. Тому алгоритмічна система АСК ТП, її блок-схема і власне алгоритми виконання функцій стають вихідними даними для розробки СПЗ АСК ТП. При створенні СПЗ необхідно вирішувати два кола питань. Перше з них пов'язане із структуруванням майбутнього програмного комплексу, тобто перехід від алгоритмічної структури до структури комплексу програм (або визначити склад програм і їх взаємодію). При цьому треба пам'ятати, що

число окремих програм СПЗ не збігається з числом функціональних задач. Немає такого збігу і з числом окремих закінчених алгоритмів і підалгоритмів. На етапі програмування всі алгоритми, які буде виконувати МПК, деталізують до такого рівня, щоб їх можна було виконати за заданими характеристиками. Для цього проводять структурування програм, тобто вирішується питання про те, скільки програм буде відповідати алгоритмічній постановці і як розподілиться весь алгоритм за окремими програмами. Результатом цієї роботи є склад програм і схема їх взаємодії.

Друге коло питань пов'язане з організацією взаємодії програм, які взаємодіють в двох аспектах: одна програма може ініціювати (викликати) роботу іншої програми, і/або між програм здійснюється обмін даними.

Процес розробки СПЗ АСК ТП дуже трудомісткий і відповідальний. Наявність трансляторів дозволяє вести програмування окремих модулів (блоків) на тій або іншій мові програмування. Ці роботи виконують поза реальним часом. Найбільш трудомісткою є розробка функціональних програм, для яких використовують спеціальні мови програмування, однаково зрозумілі програмістам і операторам-технологам.

Ще однією частиною програмного забезпечення АСКТП є програми, що обслуговують зв'язок людей з операційною системою і з даними. Цей розділ програмне забезпечення має велике значення в АСКТП, так як в роботі системи управління бере участь людина. Для представлення даних операторам в АСКТП є великий набір технічних засобів: друкуючі пристрої, дисплеї, мнемосхеми і т. д. Так як з АСКТП взаємодіють люди різних спеціальностей і різного рівня знань в області ЕОМ і програмування, то до програм зв'язку операторів з операційною системою і з даними пред'являються різноманітні вимоги зручності спілкування людини з ЕОМ.

Всі існуючі мови програмування можна поділити на дві групи:

- мови низького рівня;
- мови високого рівня.

До мов низького рівня належать мови асемблера (від англ. to assemble - складати, компонувати). У мові асемблера використовуються символічні позначення команд, які легко зрозуміти і запам'ятати. Замість послідовностей двійкових кодів команд записуються їх символічні позначення, а замість двійкових адрес даних, які використовуються під час виконання програми, - символічні імена цих даних. Іноді мову асемблера називають мнемокодом або автокодом.

Більшість програмістів при складанні програм користуються деякою мовою високого рівня. Для описування алгоритмів такою мовою використовується певний набір символів - алфавіт мови. З цих символів складаються так звані службові слова мови, кожне з яких має певне призначення. Службові слова зв'язуються одне з одним в речення за певними синтаксичними правилами мови і визначають деяку послідовність дій, які мусить виконати комп'ютер.

Використання мов високого рівня надає можливість описувати програми для комп'ютера, використовуючи загальноприйняті позначення операцій і функцій. Та програми, що написані на мовах програмування високого рівня (алгоритмічних мовах програмування), комп'ютер "не розуміє". Для того, щоб він міг виконати програму, її потрібно перекласти на машинну мову. Для такого перекладу використовують спеціальні програми, що мають назву - транслятори.

Транслятор - це програма, що призначена для перекладу тексту програми з однієї мови програмування на іншу. Процес перекладання називається трансляцією.

Розрізняють два типи трансляторів:

компілятори

інтерпретатори

Компілятор - це програма, призначена для перекладу в машинні коди програми, що написана мовою високого рівня.

Процес такого перекладання називається компіляцією. Кінцевим результатом роботи компілятора є програма в машинних кодах, яка потім виконується ЕОМ. Скомпільований варіант програми можна зберігати на дискові. Для повторного виконання програми компілятор вже не потрібен. Досить завантажити з диска в пам'ять комп'ютера скомпільований перед цим варіант і виконати його.

Існує інший спосіб поєднання процесів трансляції та виконання програм. Він називається інтерпретацією.

Інтерпретатор - це програма, що призначена для трансляції та виконання вихідної програми по командах (на відміну від транслятора, який цей процес виконує в цілому). Такий процес називається інтерпретацією.

У процесі трансляції відбувається перевірка програми на відповідність до правил її написання. Якщо в програмі знайдені помилки, транслятор виводить повідомлення про них на екран монітора. Інтерпретатор повідомляє про знайдені помилки після трансляції кожної команди програми, а компілятор - після завершення компіляції всієї програми. Знайти та виправити в цьому випадку помилки значно складніше, ніж при інтерпретації. Через це програми-інтерпретатори розраховані, в основному, на мови, що призначені для навчання програмуванню, і використовуються програмістами-початківцями.



Рисунок 6.3 – Класифікація мов програмування

4. Інформаційне забезпечення АСУТП

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

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

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

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

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

Однак існує й інша методологія проектування з використанням CASE-технологій і CASE-засобів, у рамках якої конструювання інформаційного забезпечення й програмних засобів рішення завдань АСК розглядається як єдиний технологічний процес. Через складність і високу вартість CASE-технологій і CASE-засобів їх застосовують тільки для створення АСК великих підприємств.

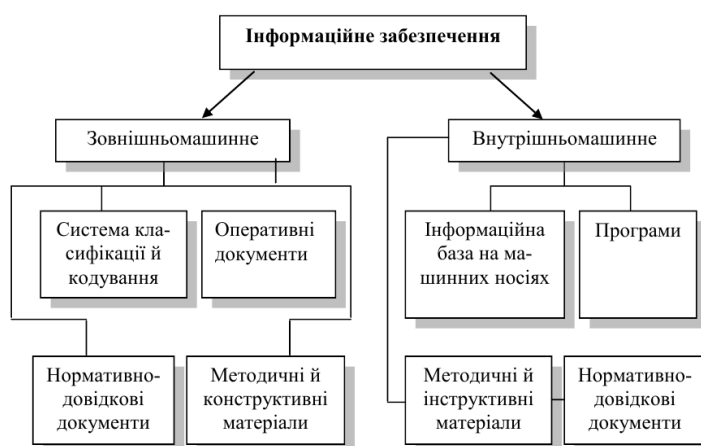


Рисунок 6.4 - Структура інформаційного забезпечення АСК

Метою інформатизації є реалізація ефективності системи управління підприємством, його підсистемами, що включають у себе, оперативні, експлуатаційні, технологічні, економічні, адміністративні й інформаційні служб.

Під інформаційною системою розуміється група людей, набір інструкцій і засобів для обробки даних, що забезпечують збір, зберігання, обробку й пошук даних з метою зменшення ступені невизначеності в процесі прийняття рішень.

Вихідною продукцією системи є інформація для ухвалення рішення. У зв'язку із цим інформаційна система є складовою й невід'ємною частиною системи управління підприємством.

Метод організації інформації в значній мірі визначає порядок її зберігання, реєстрації, відновлення. Чітка організація банків даних дозволяє

більш повно обґрунтувати напрямок руху, інтенсивність потоків, закономірності перетворення інформації, методику її запитів і одержання.

Основними видами реалізованих інформаційних систем є:

- фінансова;
- виробнича або оперативна (планування виробництва, закупівля, розподіл);
- ринкова система (планування збуту, контроль кредитів, вивчення ринку);
- кадрова (особисті справи працівників, зайнятість, розміщення кадрів);
- керівництво здійсненням проектів;
- інші системи.

Розподілені системи управління можуть бути централізованими, децентралізованими й багаторівневими.

У централізованих розподілених системах локальні підсистеми забезпечують збір інформації, передачу її в центральну підсистему, яка обробляє інформацію й передає для них управляючі впливи.

У децентралізованих розподілених системах усі підсистеми рівноправні, збирають і обробляють інформацію на місці.

Багаторівневі розподілені системи управління є ієрархічними (у них підсистеми різняться по рівнях підпорядкованості й управління). На нижньому рівні управління перебувають локальні підсистеми, що з'єднуються з безліччю підсистем більш високого рівня, які, у свою чергу, з'єднані каналами зв'язку з підсистемами ще більш високого рівня. Очевидно, що на різних рівнях можуть використовуватися принципи централізованого або децентралізованого управління.

Для розподілених систем характерним є:

- низька вартість ПЕОМ при високій продуктивності;
- можливість наближення засобів до місць зародження й споживання інформації;
- швидкість доступу до інформації;

- легкість в обробці даних;
- можливість забезпечення високої надійності й вірогідності результатів;
- адаптивність, відкритість, удосконалення системи для з'єднання з іншими системами;
- підвищена гнучкість використання обчислювальних і інформаційних ресурсів;
- підвищення надійності за рахунок апаратної надмірності;
- скорочення витрат, пов'язаних з розробкою й налагодженням програмного й інформаційного забезпечення.

При проектуванні розподілених систем управління вирішуються наступні завдання:

- вибір зони дії локальної підсистеми залежно від ступеня розподіленості об'єктів управління;
- формування функцій розподіленої системи і їх розподіл по підсистемах;
- вибору конфігурації комплексу технічних засобів;
- математичного й імітаційного моделювання розподіленої системи управління разом з виробничим процесом;
- коректування функцій.

Процедура розподілу систем на підсистеми повинна бути виконана за правилами розподілу цілого на частку, з урахуванням надійності й економічності. Збої в підсистемах протягом запрограмованого часу не повинні приводити до збою системи в цілому. Це досягається шляхом створення спеціальних компенсаторів – поштових скриньок і забезпечення локального функціонування підсистем протягом певного часу. Кількість підсистем в основному визначається кількістю функціональних завдань, що розв'язуються системою. Підсистеми повинні мати принцип комунікабельності, а записи вихідної інформації в них повинні проводитися однократно.

Виділення інформаційного забезпечення АСКТП у вигляді самостійного компонента розробки і експлуатації системи відбулося лише в останні роки, і чітку грань між програмним та інформаційним забезпеченням в даний час провести важко. У значній частині технічної літератури по АСК термін «програмне забезпечення» застосовують в широкому сенсі, включаючи в нього і поняття «інформаційне забезпечення».

5. Організаційне забезпечення АСУТП.

Організаційне забезпечення АСКП являє собою сукупність засобів і методів, призначених для проведення техніко-економічного аналізу існуючої на підприємстві системи управління, вибору і постановки завдань автоматизації організаційного управління в умовах АСКП. Воно є необхідним для забезпечення взаємодії персоналу АСКП як з технічними засобами, так і між собою в процесі рішення завдань управління.

У організаційному забезпеченні виділяють чотири групи.

1. Основна група включає найважливіші методичні матеріали, що регламентують процес створення й функціонування системи:

- загальногалузеві керівні методичні матеріали по створенню АСКП, типові проектні рішення АСКП;

- методичні матеріали по організації й проведенню передпроектного обстеження на підприємстві, формуванню завдань, як по рівнях об'єкта управління (завдання управління ділянками, цехами, підприємством у цілому, а також комплексними, що охоплюють кілька рівнів управління);

- по функціях управління (нормування, планування, облік, регулювання).

2. Засоби, необхідні для ефективності функціонування АСКП (комплекси завдань управління, пакети прикладних програм, типові структури управління підприємством, уніфіковані форми документів), становлять наступну групу в структурі організаційного забезпечення АСКП.

3. Важливою складовою організаційного забезпечення є всіляка документація, сформована в процесі передпроектного дослідження (технічне завдання й техніко-економічне обґрунтування АСКП), у ході технічного й робочого проектування (технічна робоча документація) і в період упровадження (документи, що оформляють поетапну здачу системи в експлуатацію).

4. Основна мета організаційного забезпечення – аналіз існуючої системи управління підприємства й розробка комплексу організаційних рішень, спрямованих на підвищення її ефективності.

Організаційне забезпечення АСКП, поєднуючи і взаємозв'язані в єдину систему методичні питання, технічне, програмне й інформаційне забезпечення, буде ефективним тільки за умови досягнення оптимального поділу функцій між ЕОМ і людиною й реалізації структурних принципів організаційних систем. Організаційні відносини повинні будуватися на комплексному й послідовному використанні правових, соціальних, психологічних і інших методів, що впливають на людей і регулюючих їхню поведінку, що вимагає, у свою чергу, тісної взаємодії організаційного забезпечення із правовим, ергономічним і іншими видами забезпечення.

6. Технологія проектування АСУТП

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) є складними технічними комплексами, що поєднують вимірювальні засоби, виконавчі механізми, обчислювальну техніку, програмне забезпечення та засоби зв'язку. Ефективність функціонування АСУТП значною мірою визначається якістю її проектування. Технологія проектування АСУТП являє собою сукупність методів, принципів і технічних рішень, спрямованих на створення системи, яка забезпечує задані показники точності, надійності, безпеки та економічної доцільності.

Проектування АСУТП ґрунтується на системному підході, згідно з яким автоматизований об'єкт розглядається як єдине ціле, що складається з

взаємопов'язаних елементів. У процесі проєктування враховуються технологічні особливості об'єкта, вимоги до режимів керування, умови експлуатації, вплив зовнішніх факторів, а також можливості інтеграції з іншими системами управління підприємства.

Одним із ключових принципів технології проєктування АСУТП є функціональна доцільність. Це означає, що всі технічні та програмні рішення повинні бути спрямовані на реалізацію конкретних функцій управління і не містити надлишкових елементів, які ускладнюють систему та знижують її надійність. Водночас система має бути достатньо гнучкою для можливого розширення або модернізації.

Важливе місце в технології проєктування займає аналіз технологічного процесу як об'єкта управління. На цьому етапі визначаються основні керовані параметри, збурюючі впливи, допустимі діапазони змін величин, а також вимоги до швидкодії та точності регулювання. Результатом такого аналізу є формалізований опис об'єкта управління, який використовується для подальшого вибору структури системи та технічних засобів.

Наступним аспектом технології проєктування є формування структури АСУТП. Структура визначає розподіл функцій між окремими рівнями управління, взаємодію між ними та інформаційні зв'язки. У сучасних АСУТП зазвичай використовується ієрархічна структура, що включає рівень польових пристроїв, рівень контролерів та рівень операторського управління. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективну обробку інформації, підвищити надійність системи та спростити її обслуговування.

Особлива увага в технології проєктування приділяється вибору технічних засобів автоматизації. До них належать датчики, перетворювачі, виконавчі механізми, програмовані логічні контролери, операторські панелі та засоби зв'язку. Вибір цих елементів здійснюється з урахуванням технічних характеристик, умов експлуатації, сумісності між собою та з програмним забезпеченням. Важливим критерієм є також надійність і ремонтпридатність обладнання.

Проектування вимірювальних каналів АСУТП включає визначення типів датчиків, методів перетворення сигналів, способів передавання інформації та заходів щодо зменшення впливу завад. Значну роль відіграє правильний вибір діапазонів вимірювання та класів точності, що безпосередньо впливає на якість управління технологічним процесом.

Технологія проектування виконавчої частини АСУТП передбачає вибір типів виконавчих механізмів і способів їх керування. При цьому враховуються динамічні характеристики об'єкта, вимоги до швидкості та плавності регулювання, а також умови безпечної експлуатації. Проектні рішення повинні забезпечувати надійне функціонування виконавчих пристроїв як у штатних, так і в аварійних режимах.

Окремим напрямом є проектування інформаційного забезпечення АСУТП. Воно включає формування переліку контрольованих параметрів, структуру баз даних, алгоритми обробки та зберігання інформації. Інформаційне забезпечення повинно бути організоване таким чином, щоб оператор отримував повну та достовірну інформацію про стан технологічного процесу в зручній для сприйняття формі.

Важливим елементом технології проектування є розробка алгоритмів управління та регулювання. Алгоритми визначають логіку роботи системи, порядок виконання керуючих дій та реакцію на зміну параметрів процесу. При їх розробці використовуються як класичні методи автоматичного регулювання, так і сучасні цифрові алгоритми, реалізовані на базі програмованих контролерів.

Проектування людино-машинного інтерфейсу є складовою частиною загальної технології проектування АСУТП. Інтерфейс повинен забезпечувати інтуїтивно зрозуміле відображення інформації, зручне керування процесом і мінімізацію ймовірності помилок оператора. При цьому враховуються ергономічні вимоги, особливості роботи персоналу та умови експлуатації системи.

Значну увагу в технології проектування приділяють питанням надійності та безпеки. Проектні рішення повинні передбачати резервування критичних елементів, захист від відмов, контроль несправностей і реалізацію аварійних режимів. Забезпечення функціональної та інформаційної безпеки є обов'язковою умовою для промислових АСУТП, особливо на об'єктах підвищеної небезпеки.

Не менш важливим аспектом є стандартизація та уніфікація проектних рішень. Використання стандартних протоколів зв'язку, типових модулів і програмних компонентів спрощує інтеграцію АСУТП з іншими системами, знижує вартість проектування та підвищує надійність системи в цілому.

Технологія проектування АСУТП є комплексним процесом, що охоплює аналіз об'єкта управління, формування структури системи, вибір технічних і програмних засобів, розробку алгоритмів управління та забезпечення надійності й безпеки. Правильно організований процес проектування дозволяє створити ефективну автоматизовану систему, здатну забезпечити стабільну та безпечну роботу технологічного процесу в сучасних умовах промислового виробництва.

Тема 7. Побудова АСУТП на основі принципів телемеханіки

1. Інтерфейс інформаційної взаємодії електронних пристроїв SPI.
2. Інформаційна взаємодії між функціональними модулями в АСУТП.

1. Інтерфейс інформаційної взаємодії електронних пристроїв SPI.

Інтерфейс інформаційної взаємодії електронних пристроїв SPI (Serial Peripheral Interface) є одним із найбільш поширених синхронних послідовних інтерфейсів, що застосовується для обміну даними між мікроконтролерами, мікропроцесорами та периферійними електронними пристроями. Його використання характерне для систем автоматизації, вбудованих систем керування, вимірювальної техніки, електронних засобів керування в енергетиці та промисловій електроніці.

SPI було розроблено компанією Motorola наприкінці 1970-х років як простий та високошвидкісний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв. На відміну від універсальних асинхронних інтерфейсів, SPI є синхронним, тобто передача даних здійснюється під керуванням спільного тактового сигналу. Це дозволяє досягати значно вищих швидкостей обміну інформацією при відносно простій апаратній реалізації.

Інтерфейс SPI реалізує принцип взаємодії за схемою «ведучий – ведений» (Master–Slave). Ведучий пристрій ініціює обмін, формує тактовий сигнал та керує вибором ведених пристроїв. Веденими можуть бути різні периферійні мікросхеми, такі як аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, датчики, пам'ять, дисплеї, мережеві контролери тощо.

Для реалізації SPI зазвичай використовуються чотири основні сигнальні лінії. Лінія SCLK (Serial Clock) призначена для передачі тактових імпульсів від ведучого пристрою до ведених. Лінія MOSI (Master Out Slave In) використовується для передачі даних від ведучого до веденого. Лінія MISO (Master In Slave Out) забезпечує передачу даних у зворотному напрямку – від веденого до ведучого. Лінія SS або CS (Slave Select / Chip

Select) використовується для вибору конкретного веденого пристрою та зазвичай має активний низький рівень.

Обмін даними в SPI відбувається у повнодуплексному режимі, тобто передача та приймання інформації здійснюються одночасно. Кожен тактовий імпульс супроводжується зсувом одного біта з регістра передавання в регістр приймання як у ведучому, так і у веденому пристрої. Таким чином, навіть якщо обмін необхідний лише в одному напрямку, апаратно завжди відбувається двостороння передача.

Формат даних у SPI не є жорстко стандартизованим. Найчастіше використовується передавання 8-бітових слів, однак у багатьох реалізаціях можливе передавання 4, 12, 16 або іншої кількості бітів. Це забезпечує гнучкість інтерфейсу, але вимагає узгодження параметрів між ведучим і веденим пристроями.

Важливою характеристикою SPI є режим тактування, який визначається двома параметрами: полярністю тактового сигналу (CPOL) та фазою тактування (CPHA). Полярність визначає рівень тактового сигналу у стані спокою, а фаза – момент зчитування та зміни даних відносно фронту або спаду тактового імпульсу. Комбінація цих параметрів утворює чотири стандартні режими SPI, які позначаються як Mode 0, Mode 1, Mode 2 та Mode 3.

У режимі Mode 0 тактовий сигнал у стані спокою має низький рівень, а зчитування даних відбувається по передньому фронту імпульсу. У Mode 1 полярність така сама, але зчитування здійснюється по задньому фронту. У Mode 2 тактовий сигнал у стані спокою має високий рівень, а зчитування відбувається по передньому фронту. У Mode 3 високий рівень у стані спокою поєднується зі зчитуванням по задньому фронту. Ведучий і ведений пристрої повинні працювати в одному й тому самому режимі, інакше обмін даними буде некоректним.

Швидкість передавання даних у SPI визначається частотою тактового сигналу, яку формує ведучий пристрій. У сучасних мікроконтролерах вона

може досягати десятків мегагерц, що робить SPI значно швидшим за такі інтерфейси, як I2C або UART. Реальна швидкість обміну обмежується електричними параметрами ліній, довжиною з'єднань та характеристиками ведених пристроїв.

Підключення кількох ведених пристроїв у SPI може здійснюватися різними способами. Найпоширеніший варіант передбачає використання окремої лінії CS для кожного веденого пристрою. У цьому випадку лінії MOSI, MISO та SCLK є спільними, а активізація конкретного пристрою здійснюється шляхом подання активного рівня на відповідну лінію CS. Такий підхід є простим і надійним, але потребує збільшення кількості виводів мікроконтролера.

Альтернативним варіантом є каскадне з'єднання ведених пристроїв, коли вихід MISO одного пристрою з'єднується з входом MOSI наступного. У такій конфігурації дані передаються послідовно через усі пристрої, а вибір здійснюється за допомогою кількості тактових імпульсів. Цей спосіб дозволяє зменшити кількість сигнальних ліній, але ускладнює програмну реалізацію та знижує гнучкість системи.

З точки зору електричних характеристик, SPI не має жорстко визначених рівнів напруги та струмів, оскільки вони залежать від конкретної логічної технології, у якій реалізовано пристрої. Найчастіше застосовуються рівні 3,3 В або 5 В. Це спрощує інтеграцію SPI у різні електронні системи, але вимагає забезпечення сумісності рівнів сигналів між усіма компонентами.

Перевагами інтерфейсу SPI є висока швидкість обміну даними, простота апаратної реалізації, повнодуплексний режим роботи та гнучкість формату передавання. Завдяки цим властивостям SPI широко використовується у системах реального часу та в задачах, де необхідний швидкий обмін інформацією між процесором і периферією.

Разом із тим SPI має і певні недоліки. Основним з них є відсутність адресації ведених пристроїв у самому протоколі, що призводить до

необхідності використання окремих ліній CS. Крім того, інтерфейс не передбачає механізмів підтвердження приймання даних, контролю помилок або керування доступом до шини, що покладає відповідальність за коректність обміну на програмне забезпечення.

У практиці автоматизації та електроенергетики SPI застосовується для підключення датчиків струму і напруги, енерголічильників, модулів пам'яті, дисплейних індикаторів, а також спеціалізованих контролерів. Завдяки високій швидкодії він придатний для систем збору даних і цифрової обробки сигналів, де важливе оперативне оновлення вимірювальної інформації.

Окреме важливе місце інтерфейс SPI посідає в телемеханічних системах електроенергетики, які призначені для дистанційного контролю, вимірювання та керування об'єктами енергосистеми. До таких об'єктів належать електричні підстанції, розподільчі пункти, лінії електропередачі, трансформатори, комутаційні апарати та допоміжне обладнання. Телемеханічні системи працюють у режимі реального або близького до реального часу, що висуває підвищені вимоги до швидкодії та надійності внутрішніх каналів обміну даними.

У структурі телемеханічних пристроїв, таких як термінали релейного захисту та автоматики, контролери телеметрії, пристрої збору та попередньої обробки даних, SPI зазвичай використовується як внутрішній інтерфейс взаємодії між мікроконтролером або цифровим сигнальним процесором і периферійними модулями. Через SPI підключаються аналого-цифрові перетворювачі для вимірювання струмів, напруг, потужності та частоти, цифро-аналогові перетворювачі, модулі пам'яті для зберігання архівів подій, а також допоміжні мікросхеми керування.

Вимірювальні канали телемеханічних систем в енергетиці потребують високої швидкості та детермінованості обміну даними. Застосування SPI дозволяє забезпечити синхронізоване зчитування вимірювальної інформації з багатоканальних АЦП, що є критично важливим для коректного визначення фазних співвідношень, обчислення миттєвих значень та реалізації алгоритмів

захисту. Повнодуплексний характер SPI дає змогу одночасно передавати команди керування та приймати вимірювальні дані без додаткових затримок.

У телемеханічних пристроях SPI також широко застосовується для підключення зовнішньої та внутрішньої пам'яті, зокрема флеш-пам'яті та EEPROM. Такі елементи використовуються для збереження параметрів конфігурації, уставок, журналів аварійних подій та результатів вимірювань. Висока швидкість доступу до пам'яті через SPI дозволяє оперативно реєструвати події навіть у разі виникнення аварійних режимів у мережі.

Ще одним напрямом застосування SPI у телемеханіці є взаємодія з індикаторами, дисплейними модулями та панелями оператора, які встановлюються безпосередньо на енергетичних об'єктах. Через SPI передається інформація про поточний стан обладнання, параметри режимів роботи, попереджувальні та аварійні повідомлення. Це підвищує інформативність локального контролю та спрощує обслуговування об'єктів.

В умовах енергетики важливим чинником є електромагнітна завадостійкість. Хоча SPI не призначений для передавання даних на великі відстані, його використання всередині шаф керування або корпусів телемеханічних пристроїв за умови правильного трасування ліній, екранування та узгодження рівнів сигналів забезпечує достатню надійність обміну навіть у складних електромагнітних умовах підстанцій.

Загалом у телемеханічних системах електроенергетики інтерфейс SPI виконує роль швидкого та надійного внутрішнього каналу зв'язку між обчислювальним ядром пристрою та його функціональними модулями. Він не замінює зовнішні протоколи телемеханіки, такі як IEC 60870-5-101/104 або IEC 61850, але є важливою складовою внутрішньої архітектури сучасних цифрових пристроїв керування, вимірювання та захисту.

2. Інформаційна взаємодія між функціональними модулями в АСУТП

Інформаційна взаємодія між функціональними модулями є ключовим елементом побудови та ефективного функціонування автоматизованих

систем керування технологічними процесами. У складних промислових і енергетичних об'єктах АСУТП складається з великої кількості апаратних і програмних модулів, кожен з яких виконує визначені функції, а їх узгоджена робота забезпечується системою інформаційного обміну.

Функціональні модулі АСУТП в електроенергетиці зазвичай включають модулі збору вимірювальної інформації, модулі обробки та аналізу даних, керуючі модулі, модулі візуалізації, архівації та передавання інформації на верхні рівні керування. Для забезпечення надійності, швидкодії та точності керування між цими модулями організовується безперервна інформаційна взаємодія, що здійснюється відповідно до заданих алгоритмів і регламентів.

Основу інформаційної взаємодії становлять сигнали вимірювання технологічних параметрів. У електроенергетичних системах до них належать струми, напруги, частота, активна та реактивна потужність, коефіцієнт потужності, температури обмоток трансформаторів, тиск і витрата теплоносія, стан комутаційних апаратів та інші параметри. Ці сигнали надходять від первинних перетворювачів до модулів введення, де здійснюється їх перетворення у цифрову форму та передавання до обчислювальних модулів.

Інформаційний обмін між модулями збору даних і модулями обробки зазвичай має детермінований характер і виконується з фіксованими інтервалами часу. Це особливо важливо для енергетичних об'єктів, де порушення часової узгодженості вимірювань може призвести до помилок у визначенні режимів роботи або некоректного спрацювання автоматичних захистів. Для синхронізації обміну використовуються тактові сигнали, часові мітки та механізми пріоритетів.

Модулі обробки інформації виконують фільтрацію, масштабування, лінеаризацію та обчислення похідних параметрів на основі первинних вимірювань. Результати обробки передаються до керуючих модулів, які формують керуючі впливи на виконавчі механізми. Інформаційна взаємодія

на цьому етапі повинна забезпечувати мінімальні затримки, оскільки у системах електроенергетики багато процесів мають швидкоплинний характер і вимагають оперативного реагування.

Керуючі модулі взаємодіють з виконавчими пристроями через вихідні модулі, передаючи сигнали керування у вигляді дискретних команд або аналогових значень. У той самий час від виконавчих механізмів і комутаційних апаратів надходить зворотна інформація про їхній стан, що дозволяє реалізувати замкнені контури керування та контроль виконання команд. Такий двосторонній обмін є необхідною умовою надійної роботи систем керування в електроенергетиці.

Значну роль у взаємодії між функціональними модулями відіграють модулі логічного та алгоритмічного керування. Вони реалізують послідовності операцій, міжблокування, умови пуску та зупинки обладнання, а також алгоритми автоматичного регулювання. Інформація між цими модулями передається у вигляді логічних змінних, статусних слів та структурованих даних, що відображають поточний стан технологічного процесу.

У системах електроенергетики особливе місце займає взаємодія між модулями керування режимами та модулями захисту. Обмін інформацією між ними повинен бути чітко регламентований, щоб уникнути конфліктів між функціями керування та захисними діями. Захисні модулі, як правило, мають пріоритет над керуючими і можуть ініціювати аварійні команди незалежно від стану інших модулів. Це накладає додаткові вимоги до організації інформаційних зв'язків і логіки взаємодії.

Важливою складовою інформаційної взаємодії є обмін даними між модулями нижнього та верхнього рівнів керування. На верхні рівні передається узагальнена інформація про стан об'єкта, результати вимірювань, сигнали тривоги і повідомлення про відхилення від нормального режиму. У зворотному напрямку надходять команди оператора, уставки регуляторів і параметри режимів роботи. Такий обмін забезпечує інтеграцію

локальних систем керування у загальну структуру управління енергетичним об'єктом.

Інформаційна взаємодія між функціональними модулями реалізується з використанням різних програмних і апаратних механізмів. До них належать внутрішні шини даних контролерів, мережеві з'єднання, спільні області пам'яті, черги повідомлень та механізми подій. Вибір конкретного способу обміну визначається вимогами до швидкодії, надійності та масштабованості системи.

У електроенергетичних АСУТП особливу увагу приділяють надійності інформаційної взаємодії. Для цього застосовуються резервування каналів обміну, дублювання критично важливих модулів, контроль цілісності даних і механізми діагностики. Наявність зворотного зв'язку між модулями дозволяє своєчасно виявляти відмови та переходити на резервні режими роботи без зупинки технологічного процесу.

Інформаційна взаємодія також тісно пов'язана з питаннями кібербезпеки та захисту інформації. У сучасних енергетичних системах обмін даними між модулями може охоплювати як локальні, так і розподілені компоненти. Це вимагає застосування механізмів автентифікації, контролю доступу та захисту від несанкціонованого втручання, особливо на стиках між рівнями керування.

Тема 8. Автоматизовані системи управління в енергетиці

1. Автоматизовані системи управління електричних мереж.
2. Автоматизовані системи диспетчерського керування. Задачі, склад структурна схема.
3. Системи автоматичного регулювання частоти та потужності.

1. Автоматизовані системи управління електричних мереж

Для високовольтих 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 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).

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).

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 устаткування 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 TCP/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.

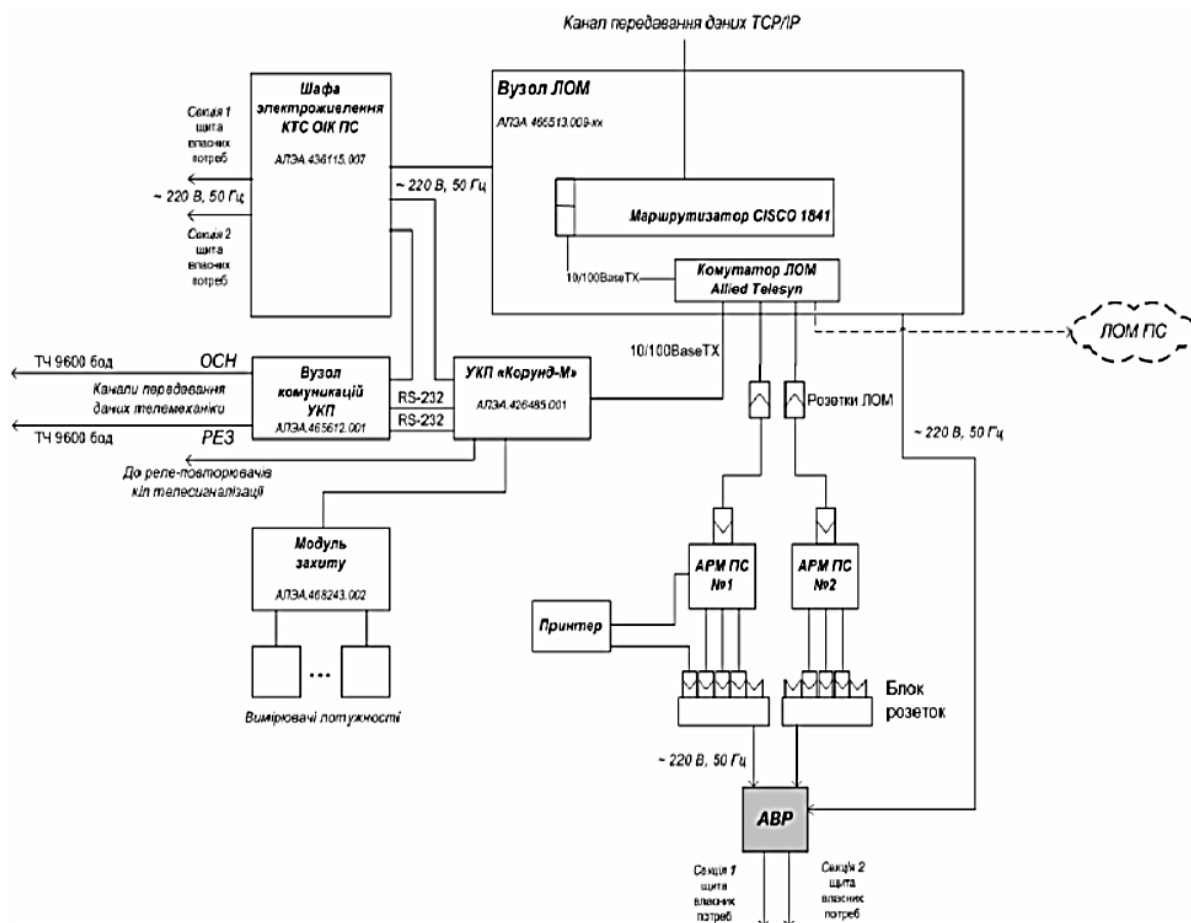


Рисунок 8.1 – Структура КТР

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, реєстраторами аварій, у найближчому майбутньому - із пристроями неруйнуючого контролю й діагностики силового встаткування під навантаженням, а також можливість обміну інформацією з локальною комп'ютерною мережею підстанції з умовою забезпечення розмежування доступу й безпеки роботи засобів АСДУ.

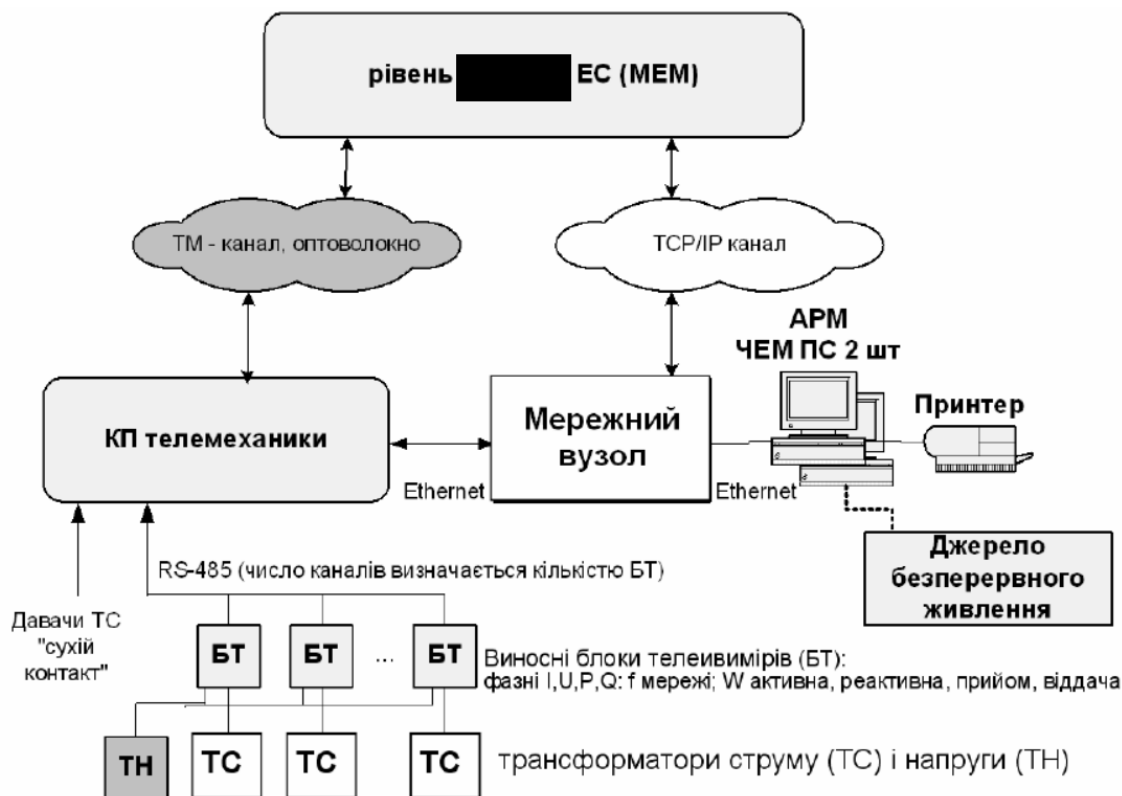


Рисунок 8.2 – Структурна схема КТЗ рівня підстанції

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

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

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

До складу входять:

- база даних реального часу (БД РЧ),
- драйвери введення-виводу сигналів телемеханіки,
- тривожна сигналізація,

- підтримка ЛОМ,
- інтерфейс користувача на клієнтських місцях, у тому числі відображення мнемосхем підстанцій та мережі;
- безпека й регламентація доступу, захист даних,
- двійкова історія (ретроспектива) сигналів,
- підсистема розробки (редактори мнемосхем, БД РВ та ін.).

2. Автоматизовані системи диспетчерського керування. Задачі, склад структурна схема

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. 8.3.

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

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

Завдання й функції АСДУ:

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

Структурна (2 рівні) схема – дивись рис. 9.4.

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

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

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

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

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

– є резервний/технологічний УКП телемеханіки для перевірки модулів.

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

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

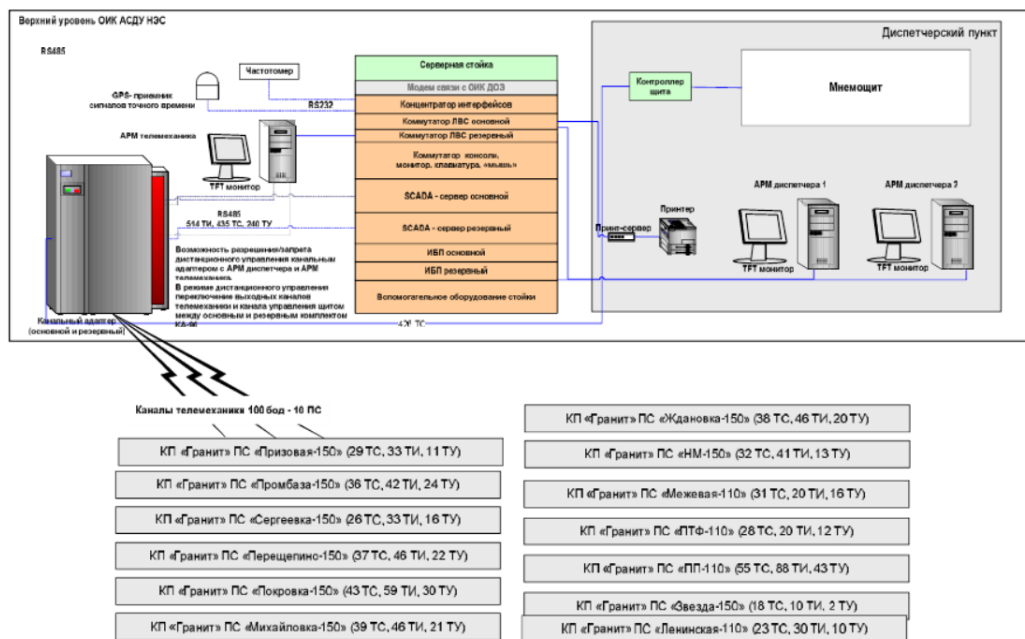


Рисунок 8.4 – Структурна схема АСДУ ПЕМ

3. Системи автоматичного регулювання частоти та 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 достовірізація (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:

$$ACI = \Delta P \pm K * \Delta f,$$

де ΔP - 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 вищого рівня;
- 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 ІЕ 870-5-101;
- виміри частоти системи з точністю 1 мГц;
- точність вимірів активної потужності - 0,5%.

Структурну схему САРПЧ Західної ЕС наведено на рис. 8.5

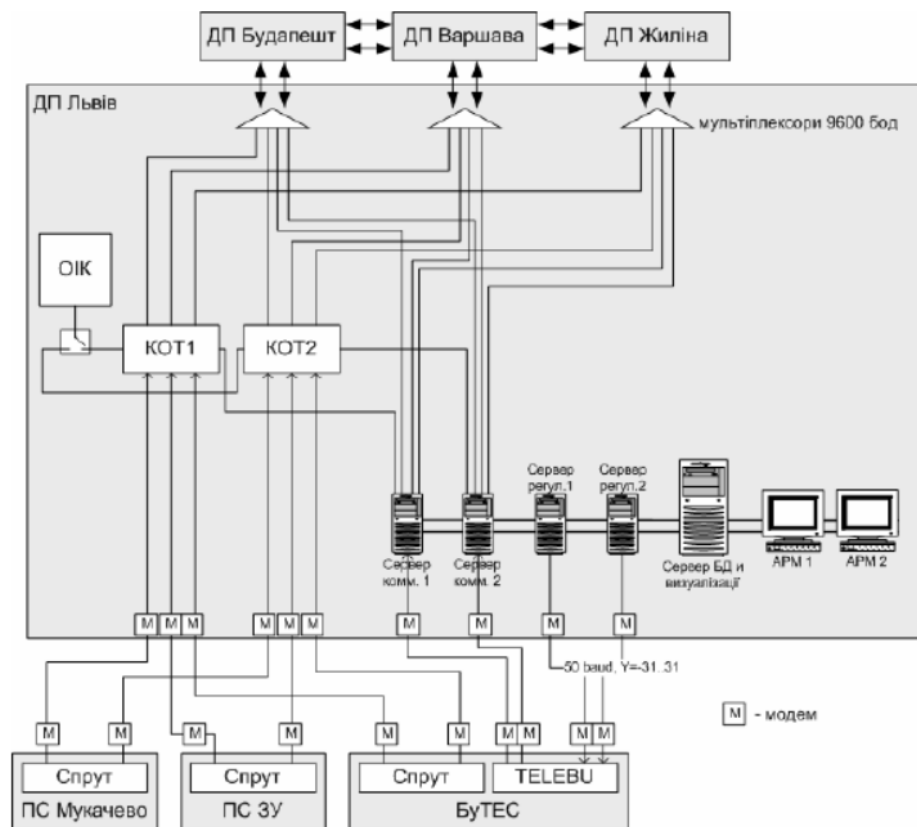


Рисунок 8.5 – Структурна схема САРПЧ Західної енергосистеми

Список джерел

1. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / [Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 150 с.
2. Черемісін М.М., Зубко В.М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням: Посібник. – Харків: Факт, 2005.
3. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. Аграрна освіта, 2010.- 557 с.
4. Промислові мережі: теорія і практика застосування протоколів та інтерфейсів: навч. посібник / І.Г. Лисаченко [та ін.]; Харківський політехнічний ін-т, нац. тех. ун-т.- Харків: Підручник НТУ “ХПІ”, 2016- 176 с.
5. Телемеханіка і АСУ систем електропостачання. Конспект лекцій для ЗВО Ім курсу спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" денної і заочної форм навчання освітнього ступеня «Магістр» / Укладачі Кравченко В.О., Лисенко В.В. - Суми, СНАУ, 2024. – 124 с.

Кравченко Володимир Олексійович

Лисенко Віта Василівна

Тимошенко Григорій Андрійович

Телемеханіка і АСУ систем електропостачання

Методичні вказівки до самостійної роботи

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

Підписано до друку: _____ 2026 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

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