

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

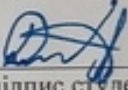
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

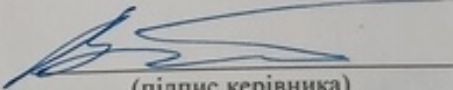
на тему: Система дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц

за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»  
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

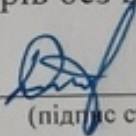
Виконав: студент групи АТ2222 (968М)

  
(підпис студента) / Дмитро ПРИХОДЬКО /

Керівник: доцент кафедри АТ

  
(підпис керівника) / Володимир ПРОФАТИЛОВ /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент   
(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine**  
**Ukrainian State University of Science and Technologies**  
**Faculty of Computer Technologies and Systems**  
**Department of Automation and Telecommunication**

Explanatory Note  
to Master's Thesis  
master  
(higher education degree)

**on the topic:** Digital diagnostic system of signal track circuits 50 Hz on station-to-station block

according to educational curriculum «Automatic machinery and automation in transport industry»  
in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Done by the student of the group AT2222 (968M)

/ Dmytro Prykhodko /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Volodymyr Profatylov /

**Dnipro – 2024**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерні технології та системи

Кафедра: Автоматика та телекомунікації

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри АТ

\_\_\_\_\_ Володимир ГАВРИЛЮК  
(підпис)

Дата \_\_\_\_\_

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу

магістра

(ступінь вищої освіти)

студенту \_\_\_\_\_

Приходько Дмитру Денисовичу

(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема  
роботи:

Система дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц

Керівник роботи:

Профатилів Володимир Іванович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

« 12 » січня 2023 р.

№ 18 ст

2. Строк подання студентом роботи:

20.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Рейкове коло для перегону 50 Гц

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина:

Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл.

4.2 Основна частина:

Метод автоматизованої діагностики перегінних рейкових кіл 50 Гц.

Розробка апаратної частини дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл.	27.11.23	30%
2	Метод автоматизованої діагностики перегінних рейкових кіл 50 Гц.	18.12.23	60%
	Розробка апаратної частини дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні		
3	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	9.01.24	100
4	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дмитро ПРИХОДЬКО

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:**

78 сторінок, 18 рисунків, 2 таблиці, 21 джерел літератури.

**Об'єкт розробки** - система дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні.

**Мета роботи** - розробка методу автоматизованого діагностування роботи рейкових кіл кодового автоблокування з частотою 50 Гц.

**Методи дослідження** – методи розрахунку рейкових кіл, теорія чотирьохполюсників, експериментальні дослідження з використанням математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики.

У першому розділі проаналізована робота рейкових кіл (РК) в Укрзалізниці за перші півріччя 2023 року, а також виконаний аналіз несправностей, які виникають у пристроях автоматики та у рейкових колах. Приведено огляд існуючих сучасних систем діагностики рейкових кіл та аналіз їх недоліків.. У другому розділі виділені основні вимоги до РК, проведений вибір місця для контролю параметрів рейкових кіл на сигнальних точках системи автоблокування. Розроблена математична модель розрахунку РК 50 Гц й оснований на даній моделі автоматизований метод діагностики параметрів рейкових кіл 50 Гц і аналіз режимів роботи РК. Крім цього в даному розділі проведена експериментальна перевірка розробленого методу. В третьому розділі розроблені структурні схеми система дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні, розроблена принципова схема центрального контролера та підключення його до АРМ електромеханіка через USB-інтерфейс.

**Висновок.** Впровадження системи дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні з частотою 50 Гц дозволить знизити експлуатаційні витрати на обслуговування та ремонт рейкових кіл, підвищити надійність роботи рейкових кіл та підвищити безпеку руху поїздів на перегонах.

**Ключові слова:** дистанційна діагностика рейкових кіл, кодове автоблокування, режими роботи рейкових кіл, PIC - мікроконтролер, USB - інтерфейс, залізнична автоматика.

## Зміст

Вступ.....	8
1. Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл.....	10
1.1. Аналіз роботи рейкових кіл.....	10
1.2. Діючі системи діагностики рейкових кіл закордонних виробників.....	13
1.2.1. Локальна діагностична система LDS.....	13
1.2.2. Система технічної діагностики й моніторингу перегінних пристроїв залізничної автоматики й телемеханіки (СТДМ-ПУ).....	15
1.2.3. Система диспетчерського контролю «ДК КАСКАД».....	17
1.2.4. Висновки.....	23
2. Метод автоматизованої діагностики перегінних рейкових кіл 50 Гц.....	25
2.1. Основи теорії технічної діагностики.....	25
2.1.1. Задачі технічної діагностики.....	27
2.1.2. Системи діагностування.....	29
2.1.3. Алгоритми діагностування та методи їх побудови.....	31
2.2. Вимоги до рейкових кіл.....	32
2.3. Математична модель рейкового кола.....	34
2.4. Вибір точок вимірювання.....	35
2.5. Методика автоматизованого визначення параметрів рейкового кола 50 Гц.....	36
2.6. Експериментальна перевірка розробленого методу.....	46
3. Розробка апаратної частини дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц.....	48

Структурна схема системи дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц.....	48
Центральний контролер системи дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц.....	50
3.2.1 Розташування та призначення виводів.....	53
3.2.2 Універсальна послідовна USB шина.....	56
3.3. Алгоритм роботи центрального контролера системи ДК.....	70
Висновки.....	75
Список літератури.....	77

## ВСТУП

Рейкові кола (РК) є датчиками інформації про те, де перебуває рухомий склад у межах станцій або перегонів. Серед інших елементів систем РК є найважливішими, тому що вони безпосередньо визначають безпеку руху поїздів. На підставі інформації, що отримується від них, функціонують системи електричної централізації й автоблокування. Умови роботи рейкових кіл на мережі залізниць стають усе більше несприятливими. Гострота проблеми зростає у зв'язку із впровадженням великовагових поїздів і швидкісного пасажирського руху. Подальше вдосконалення якості роботи систем СЦБ й, як наслідок, посилення безпеки руху поїздів нерозривно пов'язане з підвищенням надійності роботи рейкових кіл.

Рейкові кола забезпечують виконання контрольного режиму, тобто контролюють цілісність рейок. В першому півріччі 2023 році в Україні виявлено біля 50 випадків пошкоджень рейкових кіл, тобто фактично попередженні катастрофи поїздів і можливі тяжкі наслідки. Крім цього, рейкові кола забезпечують контроль справного стану елементів зворотної тягової мережі, призначеної для пропуску зворотного тягового струму. І, нарешті, рейкові кола служать інструментом для передачі на локомотиви й інші рухомі одиниці інформації про показання світлофора, до якого наближається поїзд, а також про припустиму швидкість його руху в даній точці колії. І тут з роботою рейкових кіл зв'язане функціонування систем автоматичної локомотивної сигналізації й автоматичного керування гальмуванням.

Таким чином, від рейкових кіл безпосередньо залежить безпека руху поїздів у господарствах колії й споруджень, електрифікації й електропостачання, локомотивного господарства й звісно у пристроях залізничної автоматики й телемеханіки. У якості альтернативного технічного вирішення проблеми розроблена система рахунку осей, що дозволяє забезпечити контроль проходження поїздом ділянок колії без використання рейкових кіл. Однак для контролю цілісності рейок й елементів зворотної тягової мережі альтернативи рейковим колам у цей час немає.

Будучи одним з основних елементів системи безпеки, рейкові кола відрізняються складністю в обслуговуванні й вимагають значних експлуатаційних витрат. Підвищення їхньої надійної роботи вимагає постійної пильної уваги

виконавців і керівників всіх рівнів, а також фінансових вкладень. Тому розробка автоматизованих методів і технічних засобів діагностики РК є важливою науковою і технічною задачею.

# 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ РЕЙКОВИХ КІЛ

## 1.1 Аналіз роботи рейкових кіл

Аналіз всіх відмов у службі Ш по об'єктах й їхнє процентне співвідношення до загального числа відмов приведено в таблиці 1.1. [1]

Таблиця 1.1 - Загальне число відмов по об'єктах у службі Ш

<b>Перелік пошкоджень</b>	<b>Кількість, шт.</b>	<b>Кількість, %</b>
Пульти, табло, апарати управління		
Стативи, релейні шафи, колійні коробки		
Установки електроживлення		
Реле, блоки, трансформатори, випрямлячі, безконтактна апаратура, пристрої захисту		

Акуму лятори		
Світло фори		
Стріло чні електр оприво ди, гарніту ра, замки Мелент ьєва		
Електр оприво ди автошл агбаумі в		
Пристр ої механіз ованих та автома тизова них сортув альних гірок		
Кабель ні лінії		
Повітр яні лінії		
Рейкові кола		
Інші		
Всього відмов по Ш		

Як бачимо, однією з головних причин відмов є рейкове коло. Загальне число порушень нормальної роботи пристроїв СЦБ через несправності рейкових кіл по Укрзалізниці за перше півріччя 2023 р. склало 50 випадків, що на 15 менше, ніж за цей період у попередньому році. Відмови рейкових кіл становлять майже половину загального числа порушень нормальної роботи пристроїв СЦБ.

На мережі залізниць України перебувають в експлуатації близько 175 тис. станційних і більше 74 тис. перегінних рейкових кіл. З 2001 р. по теперішній час число відмов знижено більш ніж на 40%, однак за абсолютним значенням залишається ще неприпустимо великим.

До найбільш характерних причин відмов рейкових кіл із припиненням їхньої роботи відносяться: обрив стикових з'єднувачів, перемичок, тягових і сполучних проводів (джемперів), порушення ізолюючих стиків, зниження опору баласту, стрілочної гарнітури, стяжної смуги, серезки, розпірки хрестовини, замикання різними елементами (дріт, інструмент і т.д.), вплив сторонніх джерел струму, пошкодження від грози, неправильне регулювання режиму роботи, злам рейки й інших. Особливо небезпечними є відмови, у результаті яких рейкове коло показує хибну вільність. Найбільш ймовірний випадок помилкової вільності в результаті наступних причин: поява обхідних крім рейкових кіл для сигнального струму: через опори контактної мережі, металеві конструкції, міжколійні з'єднання тощо.

Втрата шунта внаслідок забруднення поверхні головок рейок; проходження рухомих одиниць із поганим шунтом (дрезини, автотриси, окремі локомотиви); підживлення колійних реле від сторонніх джерел: підживлення або перекидання колійних реле обслуговуючим персоналом; несправності перемичок або з'єднувачів. Несправності з'єднувачів відбуваються через корозію, неякісну приварку, пошкодження при колійних роботах і т.п.

Основне число відмов рейкових кіл падає на ізолюючі стики й ізоляцію стрілок. Відмова ізолюючих стиків виникає, як правило, при пошкодженні деталей, ізоляції й у той же час при збереженні цілості самих накладок. Строк служби й періодичність ремонту ізолюючих стиків визначають бічні ізолюючі прокладки, тому що вони піддані найбільш сильному впливу динамічних зусиль від рухомого складу.

Факторами, що сприяють порушенню ізоляції ізолюючого стику, є: згін рейок, неякісне підбиття шпал, замикання стику металевою стружкою й т.п. Всі металеві деталі скріплення і рейки мають електронну провідність, а шпали й баласта, де є присутнім волога, можна розглядати як своєрідний електроліт, що також володіє певною провідністю. З ростом температури й вологості інтенсивність електрохімічних процесів зростає, що приводить до зниження опору ізоляції. Великий вплив на активізацію електрохімічних процесів чинять солі, які навіть у малих кількостях приводять до різкого зниження опору ізоляції. Зниження ізоляції рейкової лінії є причиною більшої частини відмов рейкового кола.

Має значення ще один важливий аспект. Аналіз показує, що на рейкові кола продовжують чинити вплив сторонні особи. За розглянутий період допущено 15 випадків закорочування рейкових кіл. Це свідчить про необхідність розробки комплексу антивандальних заходів.

Апаратури рейкових кіл вносить не самий істотний внесок у загальну кількість відмов, однак абсолютні показники таких відмов залишаються досить великими. Наприклад у рейкових колах змінного струму поряд з активними втратами енергії сигнального струму є присутні значні перемагнічування сталі рейок, вихрових струмів і т.п. У цілому спостерігається позитивна динаміка зниження відмов апаратури за винятком колійних реле й апаратури захисту від перенапруг.

Всі наведені положення відносяться до роботи традиційних релейних рейкових кіл. В останні роки активно впроваджуються системи автоблокування з рейковими колами тональної частоти (ТРК). Ці рейкові кола побудовані на зовсім новій елементній базі, менш критичні до опору баласту, і, що саме головне, не вимагають наявності ізолюючих стиків. Тому основне навантаження по забезпеченню працездатності ТРК припадає на працівників дистанцій сигналізації й зв'язку.

Порівняльний аналіз роботи традиційних рейкових кіл і рейкових кіл тональної частоти свідчить, що по кількості відмов на 1000 рейкових кіл ТРК працюють в 4 рази надійніше. Виходячи із цього ухвалене рішення про переважне впровадження саме тональних рейкових кіл, причому із централізованим

розміщенням апаратури. Використання тональних рейкових кіл (ТРК) при централізованому розміщенні апаратури автоблокування (ЦАБ) значно знижує витрати на обслуговування системи, а при виникненні відмов скорочує час їх відновлення. Разом з тим перший досвід експлуатації системи автоблокування з тональними рейковими колами показує і її істотні недоліки які вимагають доробок і виправлень у процесі експлуатації: «плаваючі» межі рейкових кіл, відсутність прохідних світлофорів (елементи сигналізації, бажані для машиністів локомотивів), складність передавальної й прийомної апаратури і тому проблематичність її надійності при масовому виробництві. Ненадійною є й захищеність колійного приймача від небезпечних відмов при дрейфі порога чутливості колійного приймача, обумовленого коливаннями напруги (у тому числі внаслідок пошкодження елементів живлення), температурними змінами параметрів транзисторів у каскадах посилення, зміни опорів у ланцюгах транзисторів, викликаними окислюванням паяних з'єднань елементів і т.п.

Імовірно, ці проблеми вирішуються, але не можна зневажити такими факторами, як слабка технологія виробництва на електротехнічних заводах, велике коливання параметрів комплектуючих елементів, недостатня їхня надійність. Однак найбільш істотним недоліком тональних рейкових кіл є співпадіння частот РК із частотами перешкод від електрорухомого складу із широтно-імпульсним регулюванням струму в тягових двигунах (не менш 400 Гц). Тому по тональних рейкових колах актуальним є вдосконалювання перешкодостійкості рейкових кіл частотою 50 й 25 Гц із ізолюючими стиками. Також варто зазначити, що вище наведені системи використовуються тільки при новому проектуванні. [2]

Значний економічний ефект може бути досягнутий за рахунок уніфікації існуючої апаратури автоблокування по методах технічної реалізації окремих модулів, на функціональному рівні, по конструктивних рішеннях і елементній базі, що використовується. Адже існуюче кодове автоблокування зараз має потребу в системі діагностики, що дозволяє заздалегідь виявляти відмови без безпосереднього виїзду механіка СЦБ на перегін, що скорочує, в свою чергу, час обслуговування і дозволяє знизити робоче навантаження на працівників дистанції.

## 1.2 Діючі системи діагностики рейкових кіл закордонних виробників

### 1.2.1 Локальна діагностична система LDS

Локальна діагностична система LDS, що розроблена й експлуатується в Чехії, дозволяє працівникам по технічному обслуговуванню цілодобово контролювати стан пристроїв СЦБ й інших пристроїв автоматики під час їхньої роботи, запобігати несправності й знаходити відмови до їхнього виникнення. Своєчасне виявлення несправності дозволяє їх усувати раніше, ніж вони приведуть до збитків, у багато разів більшому. Використання LDS допомагає знизити витрати на утримання устаткування й підвищити безпеку роботи працівників по технічному обслуговуванню. Значно зменшується кількість часу, проведеного під час роботи на коліях, а більша частина роботи зосереджена в центрі технічного обслуговування, що оснащений базою даних стану пристроїв за час їх роботи. Зниження кількості використаних мастильних матеріалів на частинах, що рухаються, пристроїв, які можна змазувати на підставі потреби, певної LDS, а не в регулярних інтервалах, приводить до подальших фінансових заощаджень, і, насамперед, до зниження екологічного навантаження.

Перелік пристроїв діагностування. Локальна діагностична система LDS версії 2.0 (далі LDS) - це модульна виробничо-діагностична система для збору, запису в базу даних, класифікації й спостереження за робітниками, даними локально доступних пристроїв діагностування. Перелік пристроїв діагностування становлять, насамперед, окремі пристрої СЦБ продукції ТОВ АЗ Прага, тобто станційні пристрої СЦБ типу ESA 11 (далі ESA 11), система електронного автоблокування АВЕ-1 (далі система АВЕ-1), пристрій СЦБ для переїздів PZZ-AZD 71/RE/AC/EA/EPA (далі PZZ) і універсальне джерело живлення UNZ. Необхідні вимірювані величин одержують із центральної вимірювальної станції, що розподіляє системи виміру DMS й інтелектуальних датчиків (наприклад, температури). Більш удосконалені версії LDS зможуть запропонувати діагностику розроблювальних електронних рейкових кіл

КOA1, перетворювачів DAK-2.X, системи електричного обігріву стрілочних переводів EOVA-1 і лічильника осей АЗ.

**Технічний опис LDS.** LDS складається з локального діагностичного сервера (DLS – Diagnostic Local Server), його головним завданням є збір даних, їхнє довгострокове зберігання, генерування діагностичних відомостей на підставі їхнього аналізу й надання даних діагностичному локальному комп'ютеру доступу (DLA – Diagnostic Local Access). Метою DLA є візуальна актуалізація діагностичних даних для потреб користувача. DLA дозволяє користувачеві визначити крайні границі оцінюваних величин, на підставі яких відбудеться класифікація несправності. У розширеній версії дозволяє DLS посилати сервісні SMS працівникам по технічному обслуговуванню, за допомогою GSM модуля. Комунікація реалізується за допомогою комунікаційного інтерфейсу RS422. Основою діагностики, що вимірює, є центральна вимірювальна станція MU DISTA, виробництва фірми ТОВ Starmon, що дозволяє вимірювати напругу й ізоляцію систем живлення. Діагностика рейкових кіл оцінює напругу, кодування LVZ, ізоляцію і стан колійних реле.

Виконання вимог ЧЗ по діагностиці. Для відображення й часткового керування системою використані аналогічна символіка й робочі процеси, що впливають із Основних технічних вимог ЧЗ на єдине робоче місце обслуговування. Обробка й візуалізація даних відповідає стандарту TNZ 34 2620 на залізничне станційне устаткування СЦБ, стаття 17, і Основними технічними вимогами ЧЗ по діагностиці залізничного устаткування СЦБ.

### **1.2.2 Система технічної діагностики й моніторингу перегінних пристроїв залізничної автоматики й телемеханіки (СТДМ-ПУ)**

СТДМ-ПУ призначена для оперативного подання своєчасних і достовірних відомостей про поточний стан об'єктів сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) лінійних пунктів та перегонів ділянок залізниці (рейкових кіл, сигналів, сигнальних точок і т.п. на робочому місці диспетчера).

#### **Мета створення системи.**

Підвищення рівня безпеки руху поїздів; зниження економічних витрат, пов'язаних з відмовою пристроїв СЦБ; зниження витрат на експлуатацію пристроїв СЦБ шляхом створення умов для переходу від планово-профілактичного принципу ремонтно – технічного обслуговування обладнання, пристроїв СЦБ до принципу ремонту і технічного обслуговування устаткування за технічним станом; поліпшення умов і підвищення культури праці.

**Функції, виконувані системою:**

- контроль і прогнозування технічного стану пристроїв СЗАТ;
- оцінка технічного стану обладнання пристроїв перегонів СЦБ, включаючи раннє виявлення та локалізацію відмов.

**Структура системи.**

Структура розподіленої стаціонарної системи технічної діагностики і моніторингу пристроїв СЗАТ будується за ієрархічним принципом з виділенням наступних рівнів користувачів:

- рівень 1 - залізничної станції (ЛПД ШН, ШНС);
- рівень 2 - дистанції сигналізації та зв'язку (ЦПДМ ШЧУ, ШЧ);
- рівень 3 - регіонального центру управління перевезеннями (ЦПМ РЦУП).

Кожен вищий рівень повинен мати можливість отримувати, при необхідності, повну інформацію від усіх нижчих рівнів.

**Апаратура контролю сигнальних установок має наступний склад.**

Перегінна апаратура - контролери сигнальної установки і переїзної сигналізації, що включають в себе програмований мікроконтролер для збору дискретної та аналогової інформації, модем, систему датчиків струму і напруги.

Станційна апаратура - контролер СЦБ у складі:

- промисловий комп'ютер з операційною системою реального часу;
- модуль модему сигнальних точок;
- модуль джерела живлення.

Програмне забезпечення АРМ електромеханіка електричної централізації на базі персонального комп'ютера для контролю перегінних пристроїв.

Функції контролера сигнальної установки і переїзної сигналізації виконує спеціалізований Блок контролю автоблокування (БКА).

**Блок контролю автоблокування здійснює наступні функції:**

- отримання запиту від апаратури на станції і передачу інформації про стан апаратури кодового автоблокування з фізичної лінії. Передача інформації на рівень станції здійснюється по кабельним лініям СЦБ з допомогою вбудованих модемів, що працюють в режимі «переприймання»;

- зняття інформації про стан 24 дискретних сигналів релейної шафи автоблокування з забезпеченням оптронної розв'язки по кожному входу;

- контроль аналогової інформації по 16-ти каналах вимірювання напруги і 8-ми каналів вимірювання струму. Всі вимірювальні канали мають гальванічну розв'язку по вхідних ланцюгах і живленню;

- контроль тривалості часових інтервалів кодів АЛС;

- контроль сходу ізолюючого стику;

- накопичення інформації про події в пам'яті блоку при відсутності запитів зі станції і видачі накопиченої інформації при надходженні запиту;

- контроль справності фізичної лінії і захист від перенапруг.

Оцінка основних характеристик технології, що забезпечують конкурентоспроможність науково-технічного рівня по відношенню до аналогів. Економічність, екологічність, довговічність і надійність, експлуатаційні витрати.

**Очікувані результати при впровадженні:**

- скорочення потенційно небезпечних для руху поїздів виявлених передвідмовних станів пристроїв СЗАТ;

- скорочення кількості відмов і збоїв в роботі пристроїв СЗАТ;

- зниження трудомісткості управління процесом експлуатації;

- скорочення часу відновлення працездатності пристроїв при відмовах.

**1.2.3 Система диспетчерського контролю «ДК КАСКАД»**

Програмно-апаратний комплекс мікропроцесорної системи диспетчерської централізації (МСДЦ) «КАСКАД» призначений для застосування на залізничному

транспорту з метою забезпечення заданої пропускної можливості залізниці та безпеки руху при централізованому (диспетчерському) управлінні об'єктами автоматики на станціях (лінійних підприємствах), інформаційного забезпечення автоматизованих робочих місць (АРМ) в складі центру управління перевезеннями (ЦУП) регіонального та дорожнього рівнів, а також взаємодії в складі автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України (АСК ВП УЗ).

Дільниця, яка переводиться на централізоване управління з використанням одного комплексу МСДЦ «КАСКАД», може складатися з сегментів (1-10), в кожному сегменті до 14 лінійних пунктів та перегонів між ними (загальна кількість лінійних пунктів може досягати 140). МСДЦ «КАСКАД» забезпечує керування поїзною роботою на такій дільниці, або на окремо виділених станціях.

Система «КАСКАД» дозволяє також комплексно вирішити проблеми пов'язані з впровадженням систем ДЦ на лінійних станціях особливо при повному скороченні чергових по станціях, це такі як – забезпечення надійного високоякісного зв'язку, телекерування роз'єднувачами енергопостачання, голосове оповіщення працівників та пасажирів, підключення систем пожежної та охоронної сигналізації, підключення систем осьових лічильників та інше.

На рис.1.1. зображена структурна схема центрального поста «ЦП КАСКАД». З урахуванням недоліків функціонування системи ЧДК підприємством «АНТРОН» розроблено мікропроцесорну систему контролю стану пристроїв автоматики на перегоні – «ДК КАСКАД».

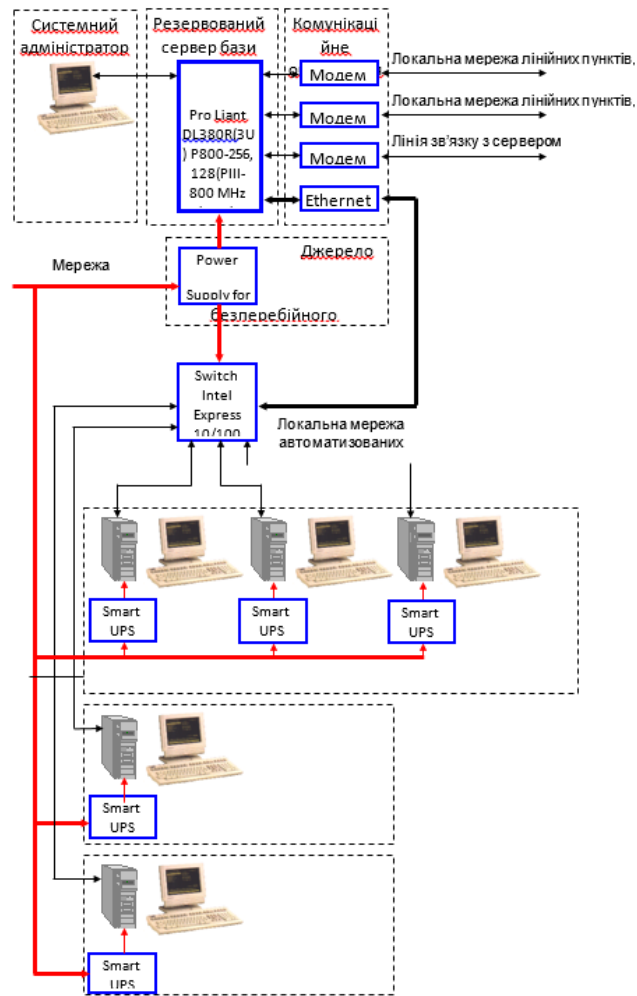


Рис. 1.1. Структурна схема центрального поста ЦП «КАСКАД»

Система призначена для надання інформації оперативному персоналу про стан пристроїв залізничної автоматики на перегоні. «ДК КАСКАД» є функціонально завершеною системою, яка може діяти автономно. У разі виникнення потреби системи МСДЦ «КАСКАД» та «ДК КАСКАД» об'єднуються, ввімкнення відбувається на рівні «ЛП КАСКАД» по внутрішньому інтерфейсу RS485, тобто «ДК КАСКАД» стає інформаційною підсистемою МСДЦ. У цьому випадку інформація про стан пристроїв автоматики на перегоні надається на два рівні управління – черговому по станції (ДСП) та поїзному диспетчеру (ДНЦ), або іншим користувачам локальної мережі диспетчерського центру управління перевезеннями.

Система складається з модулів станційного мікропроцесорного контролера «СК2202» та перегінних мікропроцесорних контролерів «ПК2202». Модуль «ПК2202» забезпечує контроль стану та працездатності.

Система складається з модулів станційного мікропроцесорного контролера «СК2202» та перегінних мікропроцесорних контролерів «ПК2202». Модуль «ПК2202» забезпечує контроль стану та працездатності сигнальної установки кодового автоблокування (АБ або АБТ) за рахунок отримання дискретної інформації про стан контрольних реле:

- контролю живлення в основному та резервному фідерах;
- ДСН;
- контролю рейкових кіл блок-дільниці (для АБТ);
- контролю стану реле КВ (для АБТ);
- контролю показань прохідних світлофорів (сигнальні та вогневі реле);
- напрямку встановленого руху;
- контролю справності ланцюгів ламп прохідних світлофорів;
- контролю стану блок-дільниці;
- охоронної сигналізації.

Крім цього, модуль використовується для контролю стану та працездатності пристроїв переїзної сигналізації. У цьому випадку отримується інформація про:

- наявність живлення в основному та резервному фідерах;
- стан реле ДСН;
- положення автошлагбаума;
- ввімкнення загороджувальної сигналізації;
- сигналізацію переїзних світлофорів;
- напрямок встановленого руху;
- справність ланцюгів ламп переїзних і загороджувальних світлофорів;
- стан кнопок на щитку управління;
- стан дільниць наближення (НИП,ЧИП);
- справність схеми реле мигання;
- стан охоронної сигналізації (відкриття релейних шаф через додатковий датчик).

Максимальна кількість об'єктів контролю, що підключаються до модуля –14, об'єктів управління – 2. Крім цього, модуль «ПК2202» може використовуватися для забезпечення управління, контролю стану та працездатності світлового показника (СП), що використовується у складі системи технічної діагностики рухомого складу (ПОНАБ, ДИСК, АСДК-Б).

Модуль перегінного контролера «ПК2202» призначений для обробки інформації, отриманої від сигнальної установки або переїзної автоматики по сигнальних лініях ТС1..ТС14, управління реле ДСН, підтримки протоколів обміну по локальній мережі зв'язку, транспортування інформації від модулів сусідніх сигнальних установок до станційного контролера (рис. 1.1).

Мікропроцесорний контролер на програмно-апаратному рівні забезпечує: сприйняття вхідних сигналів ТС та їх обробку, управління ключами ДСН, управління і контроль модемів локальної мережі, підтримку протоколу обміну по лінії зв'язку, світлодіодну індикацію стану живлення та ліній зв'язку.

Вхідний сигнал контролю ТС являє собою «сухий» контакт реле, який замикає струм 5-10 мА на схему оптоелектронної розв'язки. Вихідні сигнали цих схем у вигляді «лог. 0/1» поступають на вхід МК для обробки.

Вихідний сигнал управління «TU1a», «TU1b» має гальванічну ізоляцію і являє собою «сухий» електронний контакт нормально розімкнений, захищений від перевантажень по напрузі і струму, призначений для комутації постійного або змінного струму до 0,1А.

Вихідний сигнал управління має гальванічну ізоляцію і являє собою «сухий» електронний контакт нормально замкнутий, захищений від перевантажень по напрузі і струму, призначений для комутації постійного або змінного струму до 0,1А.

Кожен з встановлених і підключених у мережу модулів повинен мати унікальну адресу, яка не повинна повторюватись в інших модулях включених до локальної мережі RS-232/485.

Кодування адреси модуля виконується за допомогою перемикача за рахунок встановлення перемикача на модулі в різні положення (14 позицій). Мікропроцесорний контролер програмно контролює встановлений код і сприймає

обмін у мережі тільки за умови співпадіння логічної та фізичної адреси. У мережу допускається включення до 14 модулів. Кодові значення адрес модулів «0» та «С» не використовуються.

Живлення модуля ПК 2202 відбувається змінним струмом від трансформатора СУ. Контролер має внутрішні схеми захисту від перевищення напруги по відношенню до «землі» – 500 В, вхідної на пруги 30 В, а також схеми захисту від імпульсних завад.

Модеми, що використовуються у складі «ПК2202», призначені для організації інформаційного обміну у різних топологіях локальної мережі «DKnet». Вони мають дводровову схему підключення по виділеній лінії зв'язку.

Модеми побудовані на основі інтегральних мікросхем DA10, DA14, належать до класу аналогових (analog data modem) тонального спектра частот 0,3...3,4 кГц і відповідають вимогам міжнародного стандарту (специфікації) ITU-T V.22 bis, V.22, V.23 and V.21; Bell 212A and Bell 103.

Дальність передачі інформації між сигнальними точками автоблокування або іншими об'єктами контролю до 20 км.

Модуль станційного контролера «СК2202» призначений для обробки інформації, отриманої від перегінних контролерів «ПК2202» по лініях зв'язку, та індикації оперативному персоналу станції про поїзне положення на перегоні, роботу переїздів та сигнальних світлових показчиків. Додатково, у випадку використання сумісно з МСДЦ «КАСКАД», інформація в повному обсязі надається відповідним користувачам.

Стан кожної з блок-дільниць перегону, які контролюються модулем «ПК2202», відображається на пульті ДСП світлодіодним випромінювачем:

- погашений стан – блок-дільниця вільна, у справному стані, для переїзду шлагбаум відкритий;

- випромінювання червоного кольору безперервне – блок-дільниця зайнята, у справному стані, для переїзду – шлагбаум закритий;

- випромінювання червоного кольору з миганням 1 раз за секунду – блок-діленьця вільна, наявність несправностей. Для переїзду – шлагбаум відкритий, наявність несправностей у пристроях переїзної сигналізації;

- випромінювання червоного кольору з миганням 5 раз за секунду – блок-діленьця зайнята, наявність несправностей. Для переїзду – шлагбаум закритий, наявність несправностей у пристроях автоматики на переїзді.

Мікропроцесорний контролер на програмно-апаратному рівні забезпечує:

- сприйняття вхідних сигналів ТС та їх обробку;
- управління світлодіодними індикаторами стану на табло пульта ДСП;
- управління і контроль модемів локальної мережі;
- підтримку протоколу обміну по лінії зв'язку;
- світлодіодну індикацію стану (живлення, лінії зв'язку).

Вхідний сигнал контролю ТС являє собою «сухий» контакт реле, який замикає струм 5-10 мА на схему оптоелектронної розв'язки. Вихідні сигнали цих схем у вигляді «лог. 0/1» поступають на вхід мікроконтролера.

Вихідні сигнали управління мають обмеження вихідного струму 7-10 мА і призначені для ввімкнення світлодіодних індикаторів стану на табло пульта ДСП. Вихідний сигнал управління «Alarm» – електронний контакт нормально розімкнений, захищений від перевантажень по струму, призначений для комутації постійного струму до 0,1 А (ввімкнення звукової сигналізації).

Станційний модуль «СК2202» допускає нарощування чисельності при включенні в системи вищого рівня (наприклад, МСДЦ «КАСКАД»), тому, як і в перегінних модулях, кожен модуль повинен мати унікальну адресу (адреса кодується перемикачем, який на схемі не показано).

Живлення модуля «СК2202» відбувається постійним струмом від станційної батареї поста ЕЦ. Схеми мають захист від перевантажень по напрузі (по відношенню до «землі» – 500 В, вхідної напруги – 36 В) і схеми захисного фільтру від імпульсних завад.

Модеми «СК2202» відповідають таким же вимогам міжнародних стандартів, як і ті, що використовуються в перегінних модулях «ПК2202».

Модуль «ПК2202» забезпечує управління та передачу інформації на лінійний пункт про стан пристроїв АБ, ПС та СП по виділеній лінії зв'язку. Одна пара лінії зв'язку обслуговує до 14 модулів «ПК2202» та 2 модулі «СК2202». Кожен з модулів «ПК2202», розташованих вздовж перегону, забезпечує обмін даними та ретрансляцію пакетів від сусідніх модулів у двох напрямках. Модуль «ПК2202» у своєму складі має два модеми, один з яких включається в лінію зв'язку в напрямок станції, другий – у напрямок перегону. Затримка в отриманні інформації до 3,2 с для 14 пристроїв на лінії.

#### **1.2.4 Висновки**

Завдяки зробленому огляду і аналізу існуючих систем диспетчерського контролю можна зробити наступні висновки по кожній із систем:

- Локальна діагностична система LDS на сьогоднішній день і досі не пройшла метрологічну атестацію; контролює дискретні об'єкти; при не повному використанні всіх можливостей системи (направлені на роботу з новими мікропроцесорними системами АБ, ЕЦ, ДЦ, ГАЦ т.і.) буде не оправдано дорогою системою.

- Система технічної діагностики й моніторингу перегінних пристроїв залізничної автоматики й телемеханіки (СТДМ-ПУ) найбільш розвинена, так як побудований на мікропроцесорній техніці, контролює дискретні та аналогові об'єкти, є можливість управління деякими об'єктами, але це все можливо тільки при використанні автоматичного блокування АБ-Е1; також необхідний виділений канал зв'язку з центральним контролером.

- Диспетчерський контроль «КАСКАД» використовується тільки при використанні МСДЦ «КАСКАД»; контролюються тільки дискретні об'єкти; максимальна кількість об'єктів контролю, що підключаються до модуля – 14, об'єктів управління – 2.

## **2 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПЕРЕГІННИХ РЕЙКОВИХ КІЛ 50 ГЦ**

### **2.1 Основи теорії технічної діагностики**

Під технічною діагностикою розуміється область знань, що охоплює теорію, методи та засоби визначення технічного стану об'єкта. Технічний стан характеризується у певний момент часу за заданих умов довкілля значеннями параметрів, встановлених технічною документацією на об'єкт. Процес визначення технічного стану об'єкта називається діагностуванням. Результат діагностування, тобто. висновок про технічний стан об'єкта називається діагнозом [2]. Загалом розрізняють три типи завдань щодо визначення стану технічного об'єкта. Завдання діагнозу - це визначення стану, в якому знаходиться об'єкт на теперішній час. Вона виникає при вирішенні питання про працездатність та справність об'єктів, пошук несправностей, під час перевірки пристроїв після їх виготовлення. Завдання прогнозу полягає у передбаченні стану, в якому виявиться технічний об'єкт у якийсь наступний момент часу. Таке завдання часто вирішується під час експлуатації пристроїв залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку, що мають тривалий термін служби. При цьому визначається періодичність профілактичних перевірок та ремонтів з метою передбачення та недопущення виходу пристроїв з ладу. Завдання полягає у визначенні стану, в якому знаходився технічний об'єкт раніше. Правильне вирішення цього завдання важливе для систем залізничної автоматики щодо причин відмов систем з метою їхнього подальшого попередження. Насправді найчастіше вирішується завдання діагнозу. Понад те, під час вирішення завдань прогнозу завжди доводиться вирішувати завдання діагнозу. Поряд з технічною діагностикою паралельно розвиваються і тісно пов'язані з нею технічне прогнозування та технічна генетика.

Технічний об'єкт (система, машина, прилад, вузол тощо), котрим вирішується завдання розпізнавання стану, називається об'єктом діагностування (ОД). Як ОД можуть виступати будь-які технічні системи, які задовольняють двом умовам: можуть

перебувати принаймні у двох взаємовиключних та помітних станах (наприклад, працездатному та непрацездатному); у яких можна назвати елементи, кожен із яких також характеризується зазначеними помітними станами. Головною відмінністю технічного об'єкта діагностування є те, що його стан в цілому розглядається, як функція, яка залежить від станів, що входять до нього елементів.

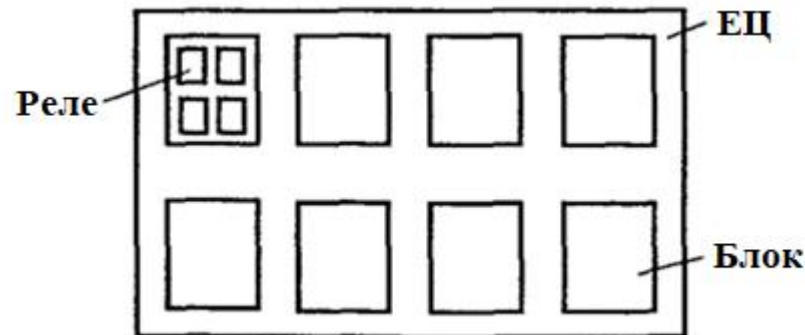


Рис. 2.1. Система електричної централізації як об'єкт діагностування

Прикладом ОД може бути система електричної централізації (ЕЦ), яка призначена для управління стрілками та сигналами на станції. Вона має працездатні та непрацездатні стани. До працездатних відносяться стани, при якому можливі завдання, замикання, розмикання та скасування всіх маршрутів. ЕЦ має багато непрацездатних станів, у яких неможливі переведення будь-яких стрілок, відкриття сигналу при замкнутому маршруті тощо. В якості елементів ЕЦ містить блоки (рис. 1.1), які мають працездатні особисті та непрацездатні стани. Блоки, у свою чергу, є ОД, тому що як елементи вони мають реле, теж мають працездатний та непрацездатний стан. Пошук несправності в блоковій системі ЕЦ складається з двох етапів. Спочатку систему розглядають як сукупність блоків, де знаходиться несправний блок. Потім останній аналізують як сукупність реле і знаходять несправне реле. Поняття стан ОД є ключовим у технічній діагностиці. Стан ОД оцінюється за діагностичними ознаками. Діагностичною ознакою (ДП) називається параметр або характеристика, що використовуються при діагностуванні. В якості поняття стан ОД є ключовим у технічній діагностиці. Стан ОД оцінюється за діагностичними ознаками. Діагностичною ознакою (ДП) називається параметр або характеристика, що використовуються при діагностуванні. В якості параметрів можуть бути значення

сигналів (фізичні величини) будь-якого роду на окремих виходах системи або у внутрішніх контрольних точках.

При діагностуванні складних багатофункціональних систем керування (до них належать багато систем залізничної автоматики) як параметр спеціального виду можна розглядати можливість системи виконувати ті чи інші окремі задані функції: наприклад, можливість керування стрілками та світлофорами.

### **2.1.1 Задачі технічної діагностики**

При діагностуванні вирішуються завдання точного визначення стану, в якому знаходиться система, або встановлення множини станів, в одному з яких вона знаходиться. Це визначається тим, яке завдання ставиться для дослідження ОД. Розрізняють п'ять задач діагностування.

**Перше завдання діагностування** – перевірка справності, при якій вирішується задача виявлення в об'єкті будь-якої несправності, що переводить ОД з безлічі справних станів  $A$  у безліч несправних станів  $W_2$  (див. рис. 1.2). Вона виникає при виготовленні пристроїв на заводах, увімкненні їх після тривалого зберігання або ремонту.

При введенні в експлуатацію пристроїв ЖАТС (наприклад, при регулюванні та пуску ЕЦ) перевіряють усі елементи, вузли, ланцюги, джерела живлення та ізоляцію. Часто це дуже трудомісткий процес, для спрощення якого необхідно застосовувати методи технічного діагностування.

**Друге завдання діагностування** – перевірка працездатності, при якій вирішується завдання виявлення тих несправностей, які переводять ОД з безлічі працездатних систем  $I$  до безлічі систем  $C$ , що відмовили. Під час перевірки працездатності можна залишати невиявленими несправності, що не перешкоджають застосуванню системи за призначенням. Наприклад, за наявності резервування система може бути працездатною, незважаючи на наявність несправностей у резервних елементах. Тому це завдання є менш детальним, ніж перевірка справності, і може бути вирішена більш простими методами. Перевірка працездатності

здійснюється при включенні об'єкта в роботу або при профілактичних оглядах, а також коли є обмеження на час, відведений для перевірки пристроїв.

**Третє завдання діагностування** – перевірка правильності функціонування-вирішується під час роботи ОД. При цьому достатньо стежити за тим, щоб в об'єкті не з'явилися несправності, по- ті, хто її нормальну роботу в даний момент часу, і виключити неприпустимий для нормальної роботи вплив несправностей. Перевірка правильності функціонування дозволяє робити висновок про правильну роботу ОД тільки в даному режимі та в даний момент часу. Зазначене завдання має важливе значення для пристроїв залізничної автоматики, що виконують відповідальні функції регулювання руху поїздів. У них треба стежити за тим, щоб спотворення алгоритму функціонування не призводило до небезпечних наслідків у поведінці об'єкта управління.

**Четверте завдання діагностування** - пошук несправностей (дефектів), при якому вирішується проблема точної вказівки в об'єкті несправного елемента або безлічі елементів, серед яких є несправний елемент. Пошук дефектів може здійснюватися у несправних, непрацездатних та справних функціонуючих пристроях під час налагодження експлуатації та зберіганні. Результатом процесу пошуку несправностей є розбиття багато станів W2 (якщо досліджується несправний об'єкт) або безлічі станів С (якщо досліджується непрацездатний об'єкт) на класи нерозрізнених між собою (або еквівалентних) станів, а також відповідних несправностей. Еквівалент стрічковими несправностями називаються такі, які не можна відрізнитися один від одного при прийнятому для дослідження пристрою спосіб діагностування. При цьому вирішується питання в якому з класів еквівалентних станів знаходиться ОД: Число класів визначає той ступінь деталізації, який досягається при пошуку несправностей. Її називають глибиною діагнозу (пошуку). Наприклад, у будь-якій блоковій системі дефекти всіх елементів, що входять в один блок, утворюють у більшості випадків один клас еквівалентних несправностей. Пошук несправностей у цьому випадку ведеться до несправного блоку, заміна якого на справний забезпечує відновлення працездатності системи.

**П'яте завдання діагностування** – прогнозування стану ОД, для вирішення якої вивчається характер зміни діагностичних параметрів і на основі встановлених тенденцій передбачаються значення параметрів у майбутній момент часу.

### 2.1.2 Системи діагностування

При вирішенні будь-якої задачі діагностування об'єкт, що досліджується, піддається деяким випробуванням. У загальному випадку процес діагностування є багаторазовою подачею на об'єкт певних входних впливів, багаторазовий вимір та аналіз відповідей (вихідних сигналів або реакцій) на ці впливи, які можуть надходити на входи об'єкта від засобів діагностування (ЦД) ) або бути зовнішніми (робочими) сигналами, що визначаються алгоритмом функціонування пристрою. Вимірювання та аналіз відповідей об'єкта завжди здійснюється засобами діагностування.

Взаємодіючі між собою ОД та ЦД утворюють систему діагностування [2]. Розрізняють два види систем діагностування (рис. 2.2). Система тестового діагностування (рис. 2.2,а) передбачає подачу впливів на ОД з боку ЦД. Інших впливів на ОД не надходить. Тому як склад, так і послідовність подачі цих впливів можна вибирати, виходячи з умов ефективної організації процесу діагностування. При цьому кожен чергову дію можна призначати залежно від відповідей об'єкта на попередні дії. Впливи в такій системі називають тестовими.

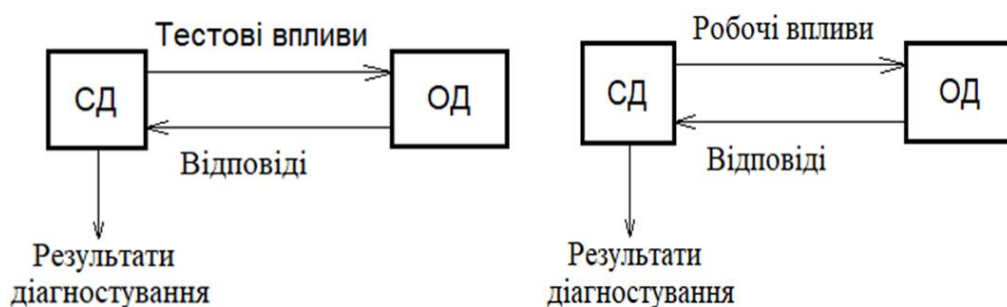


Рис. 2.2. Системи діагностування технічного стану ОД: а – тестове діагностування; б - функціональне діагностування

У системі функціонального діагностування (рис. 2.2,б) ЦД не формує впливів на ОД. На ОД та ЦД надходять робочі дії, передбачені алгоритмом функціонування об'єкта. Система діагностування діє в процесі робочого функціонування ОД та

вирішує завдання правильності функціонування та пошуку несправностей, що порушують нормальне функціонування.

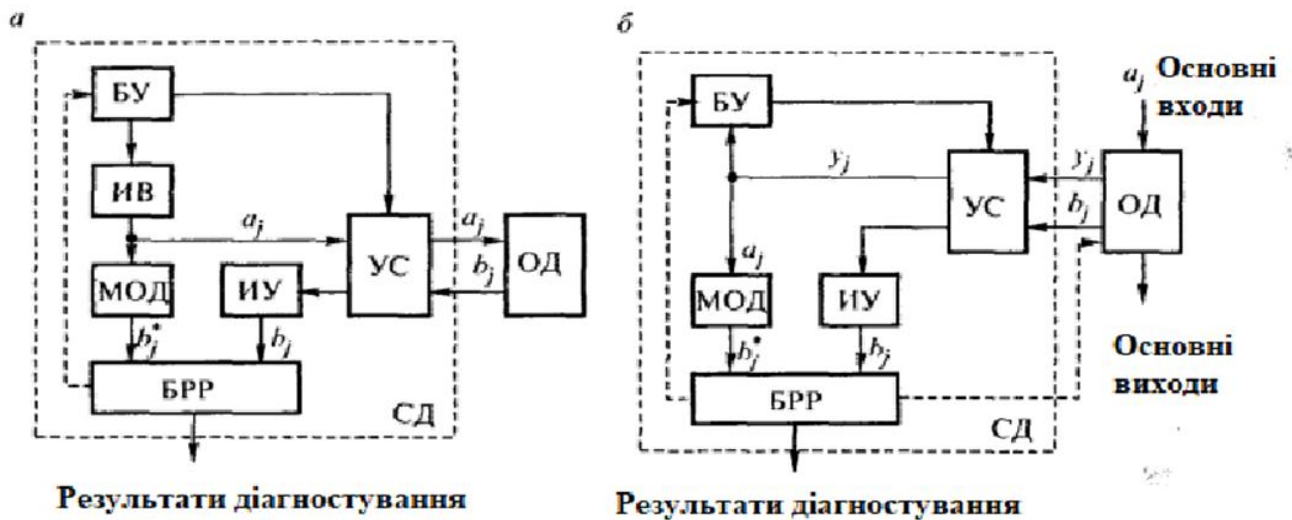


Рис. 2.3. Функціональні схеми системи тестового діагностування

У функціональній схемі системи тестового діагностування (рис. 2.3,а) блок управління (БУ) служить для зберігання алгоритму діагностування та управління роботою засобів діагностування. Джерело впливу (ИВ) виробляє впливу АІ у вигляді елементарних перевірок, що входять у тест, і у відповідності з алгоритмом діагностування у певній послідовності подає їх через пристрій зв'язку (УС) на об'єкт діагнозу (ОД), а також на модель об'єкта діагнозу (МОД). Блок МОД виробляє інформацію про можливі технічні стани ОЖ у вигляді можливих результатів БІ елементарних перевірок, що входять до тесту. ОД у відповідь на вплив АІ формує фактичні елементарні перевірки, які через УС та вимірювальні пристрої (ІУ) надходять на вхід блоку розшифрування результатів (БРР).

У функціональній схемі системи функціонального діагностування (рис. 2.3, б) робочі взаємодії  $a_j$  надходять на основні входи ОД, з якого знімаються сигнали  $y_j$  управління засобами діагностування та сигнали  $b_j$  відповідей ОД на взаємодію  $a_j$ . Сигнали  $y_j$  керують блоками БУ і МОД у залежно від режиму роботи об'єкта, при цьому на входи МОД поступають дії  $a_j$ . Між блоками БРР та ОД встановлюється прямий зв'язок, (показаний пунктиром), якщо ОД повинен бути виключений.

### 2.1.3 Алгоритми діагностування та методи їх побудови

Будь-яке завдання діагнозу вирішується за допомогою реалізації відповідної процедури, в основі якої лежить алгоритм діагностування, який є сукупністю приписів у вигляді послідовності перевірок та правил обробки їх результатів отримання загального результату діагностування. Розрізняють алгоритми перевірки справності, працездатності та пошуку несправності. Їх будують на основі відповідних тестів та словників несправностей. На рис. 2.4 наведено класифікацію алгоритмів діагностування, відповідно до якої можна виділити три види алгоритмів: безумовний з безумовною зупинкою, безумовний з умовною зупинкою та умовний з умовною зупинкою.



Рис. 2.4. Класифікація алгоритмів діагностування

Безумовний алгоритм задає одну фіксовану послідовність проведення перевірок, при цьому інформація про технічний стан об'єкта фіксується та обробляється послідовно незалежно від результатів попередніх перевірок. В умовному алгоритмі передбачається призначення кожної наступної перевірки залежно від результату аналізу попередніх перевірок. Якщо висновок про технічний стан об'єкта може бути зроблено тільки після проведення всіх перевірок, передбачених алгоритмом, такий алгоритм називають алгоритмом з безумовною зупинкою.

зупинкою. Якщо видача результату діагностування можлива після виконання кожного або деяких проміжних кроків алгоритму, останній називають алгоритмом з умовною зупинкою. Умовний алгоритм завжди є алгоритмом із умовною зупинкою.

Найбільш поширеними формами представлення алгоритмів діагностування є таблиці та деревоподібні графіки. Безумовні алгоритми з безумовною зупинкою подаються у вигляді таблиць, якими, наприклад, виступають словники несправностей. У цьому випадку пошук несправного елемента вимагає виконання всієї множини перевірок, включених у тест, з фіксацією їх результатів. За підсумками аналізу повної сукупності цих результатів робиться висновок місце несправності.

## **2.2 Вимоги до рейкових кіл**

Всі РК розробляються з урахуванням технічних вказівок по проектуванню пристроїв сигналізації, централізації і блокування на залізницях колії 1520 мм загальної мережі, методичних вказівок по проектуванню пристроїв автоматики, телемеханіки і зв'язку на залізничному транспорті, керівних вказівок по захисту від перенапруги пристроїв СЦБ і різних додаткових методичних вказівок по проектуванню. Основні вимоги до рейкових кіл можна сформулювати у вигляді наступних положень:

1. Основним джерелом живлення змінного струму частотою 50 Гц є високовольтна лінія АБ, а резервним джерелом живлення - високовольтна лінія електропередачі для живлення лінійних споживачів. Допустиме коливання номінальної напруги частотою 50 Гц ( $220 \pm 20$ ) В. Допустиме коливання частоти - ( $50 + 1,25$ ) Гц.

2. Передбачено можливість у схемах рейкового кола використовувати їх при переході ділянки на електротягу змінного або постійного струму та пропуску поїздів в неправильному напрямку на двоколійних ділянках за сигналами АЛСН (при капітальному ремонті одного з колій).

3. Правильно розраховані рейкові кола повинні стійко працювати без сезонного регулювання і забезпечити надійну дію АЛСН.

4. Відгалуження стрілочних ізолюваних ділянок, що входять в маршрути прийому і відправлення, а також відгалуження довжиною більше 60 м, вважаючи від центру стрілочного перевodu до ізолюючого стику, повинні обов'язково обтікати струмом рейкового кола.

5. Контроль обтікання струмом відгалужень здійснюється установкою на кожному з них колійних реле або реактивного елемента. Число колійних реле не повинне перевищувати трьох в одному РК. Довжини відгалужень стрілочних ізолюваних ділянок з релейними трансформаторами, починаючи від точки розгалуження, не повинні відрізнятись один від одного більш ніж на 200 м.

6. В схемах розгалужених РК необхідно забезпечити надійну фіксацію положення «Зайнято» колійним приймачем того паралельного відгалуження, на якому знаходиться пересувний склад. При цьому контакти всіх колійних приймачів включаються в коло контролю стану РК послідовно.

7. Вплив електротяги на РК розповсюджується по залізничній колії на ділянках з АБ (при складних, гальванічно зв'язаних за допомогою дросель - трансформаторів РК) на відстань до восьми км без АБ (за відсутності суцільних РК) - на відстані до п'яти км. В поперечному напрямі вплив електротяги постійного струму розповсюджується на відстань до 300 м, змінного струму - до 100 м.

8. Всі типи РК з ізолюючими стиками повинні надійно захищати від взаємного впливу при електричному замиканні ізолюючих стиків. Такий захист здійснюється в РК з безперервним живленням – підключенням джерела живлення так, щоб у кожного ізолюючого стику була різнойменна (стрічна) полярність або зворотні фази; в суміжних кодових РК змінного струму – зсувом імпульсів за часом, а в імпульсах РК постійного струму – дотриманням у ізолюючих стиків різної полярності живлення. В однопиткових РК змінного струму контроль і захист виконуються тяговими з'єднувачами суміжних РК. Укорочені суміжні РК в маневрових районах мають одну загальну нитку і можуть мати однакову полярність по різні сторони ізолюючих стиків. Такі РК повинні граничити один з одним живлячими кінцями.

9. У схемах РК зміна напрямку кодування як для одноколійних, так і для двоколійних ділянок доріг (на переїздах, а також при кодуванні з релейного кінця при

русі неправильним рухом у разі ремонту одного з колій) виконується в ланцюгах вторинних обмоток ПТ та ІТ. Це дозволяє застосовувати одні й ті ж схеми РК для двоколіїних і одноколіїних ділянок і заощадити по одному трансформатору на живильних кінцях РК одноколіїних ділянок.

10. Захист станційних безстиківих РК змінного струму від впливу з ним кодових перегінних РК, що граничать, здійснюється установкою на межі з перегонами живлячих трансформаторів або живленням перегінних РК від станційного джерела живлення з дотриманням чергування миттєвих полярностей напруг на ізолюючих стиках.

11. На ділянках з електротягою постійного і змінного струму для каналізації зворотного тягового струму ізолювані колійні ділянки, обладнані РК, з'єднуються між собою за допомогою дросель – трансформаторів (двохниткові РК) або тягових з'єднувачів (однориткові РК).

### **2.3 Математична модель рейкового кола**

Чотириполюсні і багатопольсні елементи заміщення рейкових ліній описуються відповідними матрицям параметрів. Всі матриці діляться на дві основні групи:

- матриці, відповідні класичній теорії чотириполюсника;
- матриці, відповідні хвильовій теорії чотириполюсника.

До першої групи входять матриці передачі  $A$ , опорів (імпеданс)  $Z$ , провідності  $Y$ , гібридна  $H$  і ін. В другу - матриця розсіяння  $S$  і хвильова матриця передачі  $T$ .

Оскільки для діагностики вибране РК 50 Гц, частотний діапазон яких обмежений областю низьких частот, то для розрахунків використовуються матриці першої групи, а зокрема матриця передачі.

Матриця передачі (ланцюгова матриця)  $A$  відповідає передачі сигналу з лівого входу чотириполюсника рейкової лінії на правий, отже, незалежними змінними вважаються вихідні (для чотириполюсника) напруги  $U$  і струм  $I$ , а вхідні визначаються виразом (2.1)

$$\begin{cases} U_1 = A_{11}U_2 + A_{12}I_2 \\ I_1 = A_{21}U_2 + A_{22}I_2 \end{cases} \quad (2.1)$$

Частина елементів матриці А визначається в режимі холостого ходу, а частина - в режимі короткого замикання виходу

$$A_{11} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0}, \quad A_{12} = \frac{U_1}{I_2} \Big|_{U_2=0}, \quad A_{21} = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{I_2=0}, \quad A_{22} = \frac{I_1}{I_2} \Big|_{U_2=0}, \quad (2.2)$$

Розрахунок стану РК ґрунтується на її уявленні у вигляді дводротової або трьохдротової електричної лінії з розподіленими параметрами.

При дводротовому представленні схеми рейкової лінії в нормальному режимі, рейкова лінія заміщається пасивним симетричним чотиріполюсником з розподіленими параметрами, рівняння передачі якого в системі А - параметрів має вигляд

$$\begin{cases} U_1 = U_2A + I_2B \\ I_1 = U_2C + I_2D \end{cases} \quad (2.3)$$

де А, В, С, D - параметри рейкового чотиріполюсника.

Відомо, що такий чотиріполюсник характеризується лише двома незалежними параметрами, оскільки між параметрами існують наступні співвідношення

$$AD - BC = 1; \quad A = D \quad (2.4)$$

В РК, що використовують в якості сигналу опиту змінну напругу, ці параметри виражаються через комплексні гіперболічні функції від повторних параметрів і довжини l електричної лінії

$$\left. \begin{aligned} A = ch(\gamma l), \quad B = Z_B \cdot sh(\gamma l) \\ C = \frac{1}{Z_B} \cdot sh(\gamma l), \quad D = A = ch(\gamma l) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

## 2.4 Вибір точок вимірювання

Шуканим об'єктом діагностики є перегінна РК 50 Гц, безпосереднє зняття електричних параметрів з самою РК для точності результатів не можливо, у зв'язку з

вище приведеними чинниками. Для виключення/зменшення впливу погрішності на вимірювання, що вносяться від різних пристроїв автоматики входить в РК, необхідно щоб ланцюг вимірювання проходив через якомога менше пристроїв. Перший варіант, якщо проводити вимірювання в крапках 1-2 і 3-4 (див. рис. 2.5), безпосередньо із затисків ізолюючого трансформатора (ІТ), який знаходиться в релейній шафі сигнальної установки, то виключається вплив самого ІТ, обмежуючого опору  $R_0$ . В другому варіанті, вимірювання з крапок 5-6 і 7-8 не виключають вплив ІТ,  $R_0$ . На скільки відчутно відмінність у вимірюваннях видно за наслідками обчислень параметрів РК. До станційних РК не можливе застосування першого варіанту, у зв'язку з розміщенням ІТ і  $R_0$  в колійній коробці. Другий варіант дає більше відомостей для аналізу роботи РК змінного струму, тому в діагностичній системі, що розробляється, використовується цей варіант.

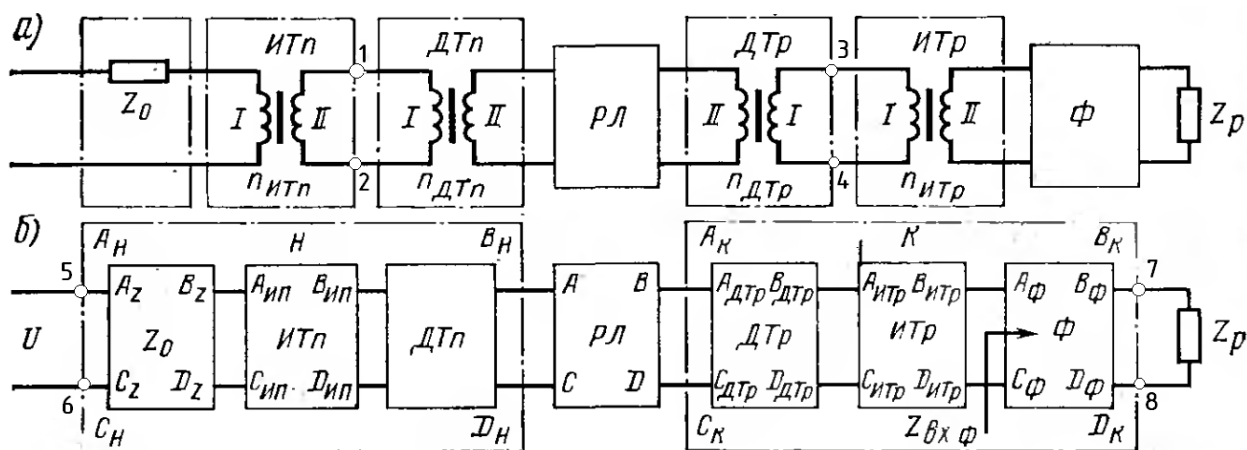


Рис. 2.5. Схеми заміщення РК змінного струму

## 2.5 Методика автоматизованого визначення параметрів рейкового кола 50 Гц

До констант відносяться наступні параметри і значення, практично все вноситься оператором при первинному запуску (настройці) автоматизованої системи діагностики:

- довжина рейкового кола  $L_{\max}$  - 2600 м;
- питомий опір рейок  $Z=0,8 e^{j65^\circ}$  Ом/км;
- питомий опір ізоляції рейкової лінії  $\gamma_{\text{и}}=1$  Ом·км;

- мінімальний питомий опір ізоляції заземлень контактних опір  $r_o = 2 \text{ Ом/км}$ ;
- критичне значення комплексу  $(\gamma l)_{кр} = 1,35$ , при якому питомий опір ізоляції рейкової лінії в контрольному режимі приймає критичне значення;
- робочий опір реле типу ИМВШ-110  $U_p = K_3 U_{cp} = 3,84 \text{ В}$ ;
- робочий струм реле  $I_p = 0,0233 \text{ А}$ ;
- опір реле  $Z_p = 165 \text{ Ом}$ ;
- приведений коефіцієнт надійного повернення реле  $K'_{вн} = 0,625$ ;
- опір ЗБФ (захисний блок фільтр)  $R_{збф} = 120 \text{ Ом}$ ;
- ємність обмежувача  $C_n = 24 \text{ мкФ}$ ;
- ємність обмежувача РОБС-3А  $Z_0 = 45 e^{j81^\circ} \text{ Ом}$
- коефіцієнти чотирьохполосника дросель - трансформатора ДТ-02-500 при коефіцієнті трансформації  $n=23$  для релейного кінця:

$$A_{ДТр} = 0,052 e^{-j3^\circ}; \quad B_{ДТр} = 0,842 e^{j61^\circ} \text{ Ом};$$

$$C_{ДТр} = 0,244 e^{-j82^\circ} \text{ СМ}; \quad D_{ДТр} = 23 e^{-j1^\circ};$$

- коефіцієнти чотирьохполосника дросель – трансформатора ДТ-0,6-500 при коефіцієнті трансформації  $n=15$  для живлючого кінця:

$$A_{ДТн} = 15,5 e^{-3^\circ 10'}; \quad B_{ДТн} = 1,815 e^{j72^\circ 32'} \text{ Ом};$$

$$C_{ДТн} = 0,135 e^{-j80^\circ 50'} \text{ СМ}; \quad D_{ДТн} = 0,08 e^{j1^\circ 80'}$$

- коефіцієнт розподілу струму витоку  $m = 0$ ;
- коефіцієнт взаєміндукції рейок  $M_{12} = 0,00128$ ;
- коефіцієнт надійного повернення колійного приймача  $K_{вн} = 0,75$ .

Автоматизований розрахунок параметрів і режимів РК відбуватиметься згідно схеми заміщення РК 50 Гц який приведений на рис. 2.6.

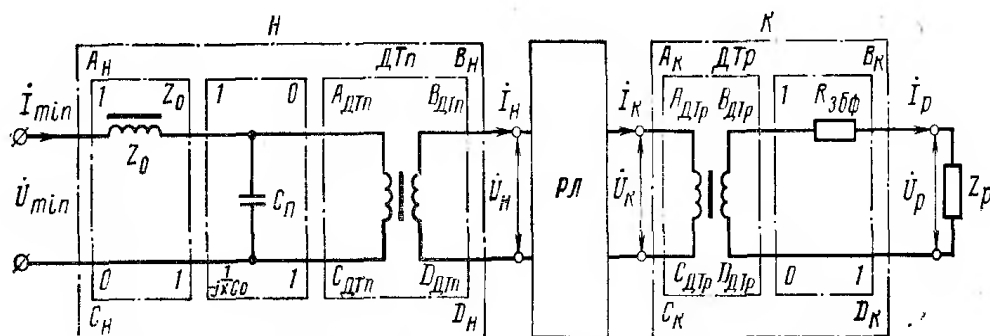


Рис. 2.6. Схема заміщення кодового РК 50 Гц

Для скорочення об'єму розрахунків всі елементи живлючого кінця рейкового кола між рейками та колійним трансформатором заміщаємо чотириполосником Н, а елементи релейного кінця між рейками та колійним реле – чотириполосником К.

Коефіцієнти загального чотириполосника релейного кінця визначаються з рівняння

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 1 & Z_0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{-jX_{C_0}} & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_{ДТ\ П} & B_{ДТ\ П} \\ C_{ДТ\ П} & D_{ДТ\ П} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 45e^{j81^\circ} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \\ &\times \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0,00754e^{j90^\circ} & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 15,5e^{-j3^\circ 10'} & 1,815e^{j72^\circ 32'} \\ 0,135e^{-j80^\circ 50'} & 0,08e^{1^\circ 30'} \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\text{звідки: } A_H = 16,42 e^{j0^\circ 47'}; \quad B_H = 4,81 e^{j80^\circ 47'} \text{ Ом};$$

$$C_H = 0,31 e^{-j31^\circ 3'} \text{ См}; \quad D_H = 0,067 e^{j5^\circ 14'}$$

Коефіцієнти загального чотириполосника живильного кінця визначаються з матричного рівняння:

$$\begin{vmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{ДТ\ Р} & B_{ДТ\ Р} \\ C_{ДТ\ Р} & D_{ДТ\ Р} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & R_{ЗБФ\ Р} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,052e^{-j3^\circ} & 0,842e^{j61^\circ} \\ 0,244e^{-j82^\circ} & 23e^{-j1^\circ} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 120 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

звідки:

$$A_K = 0,051 e^{-j3^\circ 1'}; \quad B_K = 6,649 e^{j3^\circ 32'} \text{ Ом};$$

$$C_K = 0,243 e^{-j82^\circ 19'} \text{ См}; \quad D_K = 39,868 e^{j47^\circ 33'}$$

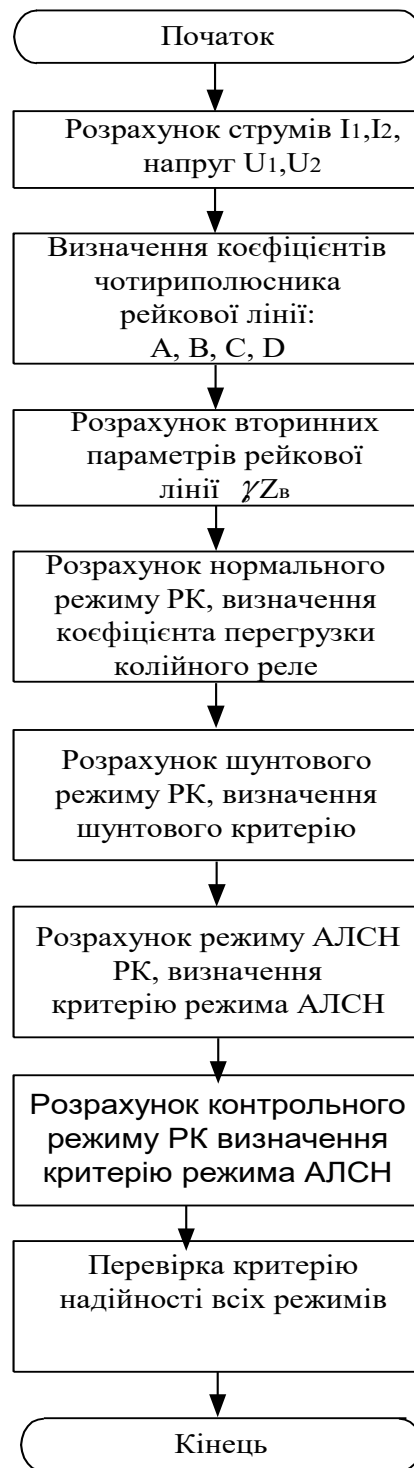


Рис. 2.7. Алгоритм автоматизованого розрахунку параметрів і режимів РК

Для знаходження напруг і струмів початку  $U_1, I_1$ , і кінця  $U_2, I_2$  рейкової лінії, скористаємося формулами:

$$I_1 = \frac{C_n U_n - A_n I_n}{C_n B_n - D_n A_n} \quad (2.8)$$

$$U_1 = \frac{I_H - D_H I_1}{C_H} \quad (2.9)$$

$$U_2 = A_K U_K + B_K I_K \quad (2.10)$$

$$I_2 = C_K U_K + D_K I_K \quad (2.11)$$

Знаходимо параметри чотириполюсника рейкової лінії:

$$A = \frac{I_1 U_1 + U_2 I_2}{I_1 U_2 + U_1 I_2} \quad (2.12)$$

$$C = \frac{I_1 - A I_2}{U_2} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{U_1 - A U_2}{I_2} \quad (2.14)$$

Розрахунок вторинні параметри рейкової лінії:

Коефіцієнт розповсюдження

$$\gamma = \frac{\text{arcch} A}{l} \quad (2.15)$$

Хвильовий опір

$$Z_B = \frac{\text{sh} \gamma l}{C} \quad (2.16)$$

**Розрахунок параметрів чотириполюсника рейкової лінії в нормальному режимі.**

Нормальним режимом називається такий стан справної і вільної від рухомого складу РК, при якому колійний приймач видає дискретну інформацію «Вільно» (1).

Коефіцієнти чотириполюсника РЛ для нормального режиму визначаються по формулах:

$$A=D=\text{ch} \gamma l; B=Z_B \text{ch} \gamma l; C=\frac{\text{ch} \gamma l}{Z_B} \quad (2.17)$$

$$r_{ia} = 0.5 \cdot r_{umin} + \frac{0.5 \cdot r_{umin} \cdot r_0}{0.5 \cdot r_{umin} + r_0} = 0.434 \quad (\text{Ом})$$

Визначимо коефіцієнт розповсюдження хвилі:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z}{r_{ia}}} = 1.145 + 0.729i$$

Знайдемо хвильовий опір:

$$Z_v = \sqrt{Z \cdot r_{ia}} = 0.497 + 0.317i$$

Визначимо коефіцієнти 4-полюсника:

$$A = \cosh(\gamma \cdot l) = 0.559 + 4.853i$$

$$D = A = 0.559 + 4.853i$$

$$C = \frac{\sinh(\gamma \cdot l)}{Z_v} = 5.298 + 6.588i$$

$$B = Z_v \cdot \sinh(\gamma \cdot l) = 1.297 + 2.636i$$

Коефіцієнти загального 4-полюсника рейкового кола:

$$\begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_k & B_k \\ C_k & D_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9.625 + 18.265i & 54.955 + 3.37i \times 10^3 \\ 0.125 + 0.041i & 15.243 + 15.121i \end{pmatrix}$$

Напряга і струм в кінці рейкового кола:

$$U_k = A_k \cdot U_r + B_k \cdot I_r = 0.352 + 1.024i \times 10^{-3}$$

$$|U_k| = 0.352 \text{ В}$$

$$I_k = C_k \cdot U_r + D_k \cdot I_r = 0.753 - 1.604i$$

$$|I_k| = 1.772 \text{ А}$$

Напряга і струм на початку рейкового кола:

$$U_n = A \cdot U_k + B \cdot I_k = 3.453 + 5.773i$$

$$|U_n| = 6.727 \text{ В}$$

$$I_n = C \cdot U_k + D \cdot I_k = 10.077 + 5.073i$$

$$|I_n| = 11.281 \text{ А}$$

Визначимо мінімальні значення напруги і струму живлячого трансформатора:

$$U_{\min} = A_n \cdot U_n + B_n \cdot I_n = 38.224 + 147.654i$$

$$|U_{\min}| = 152.522 \text{ В}$$

$$I_{\min} = C_n \cdot U_n + D_n \cdot I_n = 0.831 + 0.504i$$

$$|I_{\min}| = 0.972 \text{ А}$$

Фактичні напруга і струм живлячого трансформатора:

$$U_f = K_{nc} \cdot U_{\min} \cdot K_{zsr} = 45.869 + 177.185i$$

$$|U_f| = 183.026 \text{ В.}$$

$$I_f = K_{tr} \cdot I_{\min} = 0.831 + 0.504i$$

$$|I_f| = 0.972 \text{ А.}$$

Прийmemo  $U_{f1} = 185$

Мінімальний опір передачі початку і кінця рейкового кола:

$$K_m = A_n = 16.41 + 0.303i$$

$$K_{tk} = C_k \cdot Z_k + D_k = 32.675 - 69.265i$$

Потужність живлячого трансформатора в нормальному режимі:

$$S_f = U_{f1} \cdot I_f = 153.746 + 93.291i$$

$$|S_f| = 179.836 \text{ Вт}$$

Зворотній вхідний опір 4-х полюсника Н:

$$Z_{vxn} = \frac{B_n}{A_n} = 0.051 + 0.29i$$

$$|Z_{vxn}| = 0.294$$

Прямий вхідний опір 4-х полюсника К:

$$Z_{vzk} = \frac{(A_k \cdot Z_r + B_k)}{(C_k \cdot Z_r + D_k)} = 0.085 + 0.179i$$

Максимальний і мінімальний опори 4-х полюсника:

$$Z_{p\min} = K_m \cdot K_{tk} \cdot [1 \cdot Z_{vxn} + Z + (0 \cdot Z_{vzk} + 1) \cdot Z_{vxn}] = 1.715 \times 10^3 + 231.559i$$

$$Z_{p\max} = K_m \cdot K_{tk} \cdot [A \cdot Z_{vzk} + B + (C \cdot Z_{vzk} + D) \cdot Z_{vxn}] = 1.643 \times 10^3 + 6.384i \times 10^3$$

Коефіцієнти перевантаження реле:

$$K_{perf} = K_{zsr} \cdot K_n \cdot K_{tr} \cdot \frac{Z_{p\max}}{Z_{p\min}} = 1.721 + 4.234i$$

$$|K_{perf}| = 4.571$$

## Розрахунок шунтового режиму

Опір шунта накладання:  $R_{shm} = 0.06 \text{ Ом.}$

Коефіцієнт заниження струму релейного кінця:

$$K_{tk} = C_k \cdot Z_r + D_k = 32.675 - 69.265i$$

Зворотній коефіцієнт заниження 4-х полюсника:

$$A_{shr} = 1 + \frac{(Z \cdot 1)}{R_{shr}} = 12.27 + 24.168i$$

$$B_{shr} = (Z \cdot 1) = 0.676 + 1.45i$$

$$C_{shr} = \frac{1}{R_{shr}} = 16.667 \quad D_{shr} = 1$$

$$Z_{pshr} = K_m \cdot K_{tk} \cdot [A_{shr} \cdot Z_{vzk} + B_{shr} + (C_{shr} \cdot Z_{vzk} + D_{shr}) \cdot Z_{vxm}] = 5.524 \times 10^3 + 7.44i \times 10^3$$

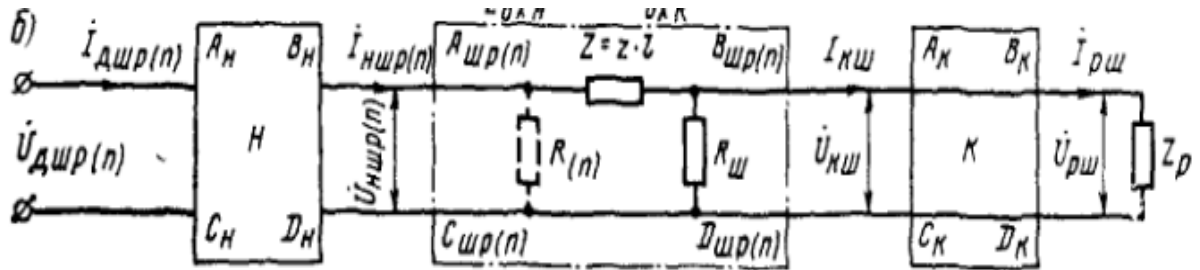


Рис. 2.8. Схема заміщення для шунтового режиму

Опір передачі:

$$|Z_{pshr}| = 9.266 \times 10^3$$

Знайдемо допустиму напругу джерела живлення:

$$U_{dshr} = K_{vn} \cdot I_r \cdot |Z_{pshr}| = 159.845$$

Визначимо коефіцієнт шунтової чутливості при накладанні шунта на релейному кінці рейкового кола:

$$K_{shr} = \frac{U_{dshr}}{U_f} = 0.219 - 0.845i$$

$$|K_{shr}| = 0.873$$

Коефіцієнт зниження струму релейного кінця:

$$K_{ii} = A_n = 16.41 + 0.303i$$

Зворотній коефіцієнт зниження струму 4-х полюсника

$$A_{shp} = 1$$

$$B_{shp} = (Z \cdot 1) = 0.676 + 1.45i$$

$$C_{shp} = \frac{1}{R_{shr}} = 16.667$$

$$D_{shp} = 1 + \frac{(Z \cdot 1)}{R_{shn}} = 12.27 + 24.168i$$

Визначимо опір передачі:

$$Z_{pshp} = K_{in} \cdot K_{ik} \cdot [A_{shp} \cdot Z_{vzk} + B_{shp} + (C_{shp} \cdot Z_{vzk} + D_{shp}) \cdot Z_{vxn}] = 4.288 \times 10^3 + 1.112i \times 10^4$$

$$|Z_{pshp}| = 1.192 \times 10^4$$

Напруга джерела живлення:

$$U_{dshp} = K_{vn} \cdot I_r \cdot |Z_{pshp}| = 205.537$$

Визначимо коефіцієнт шунтової чутливості при накладанні шунта на живлячому кінці рейкового кола:

$$K_{shp} = \frac{U_{dshp}}{U_f} = 0.281 - 1.087i$$

$$|K_{shp}| = 1.123$$

### Розрахунок режиму КЗ

Вхідний опір к з:

$$Z_{kz} = \frac{B_n}{D_n} = 17.792 + 69.913i$$

$$|Z_{kz}| = 72.141 \text{ Ом}$$

Знайдемо струм к.з.:

$$I_{kz} = \frac{U_{f1}}{Z_{kz}} = 0.632 - 2.485i$$

$$|I_{kz}| = 2.564 \text{ А}$$

Потужність джерела живлення в режимі КЗ:

$$S_{kz} = U_{f1} \cdot I_{kz} = 117.007 - 459.76i$$

$$|S_{kz}| = 474.415$$

### Розрахунок режиму АЛСН

Опір передачі визначаємо за формулою:

$$Z_{p1} = K_{in} \cdot (B + D \cdot Z_{vxn})$$

$$Z_{p1} = -44.82 + 49.148i$$

$$|Z_{p1}| = 66.516$$

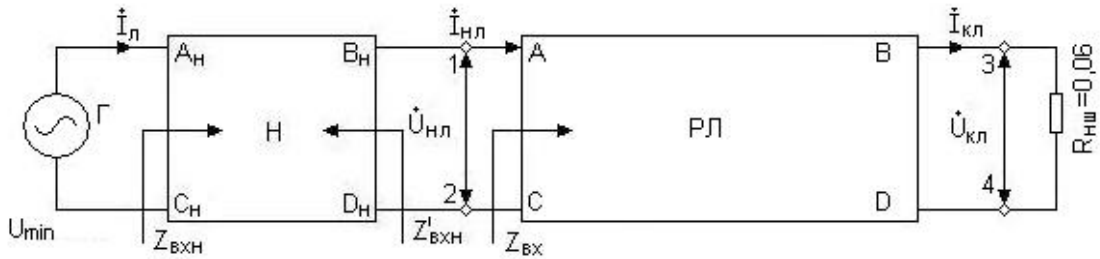


Рис. 2.9. Схема заміщення рейкового кола для режиму АЛСН

Фактичний струм АЛС:

$$I_f = \frac{U_{f1}}{Z_{p1}}$$

$$|I_f| = 2.781$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$K_{k1} = \frac{I_f}{I_{ln}} \quad |K_{k1}| = 1.391$$

**Розрахунок контрольного режиму**

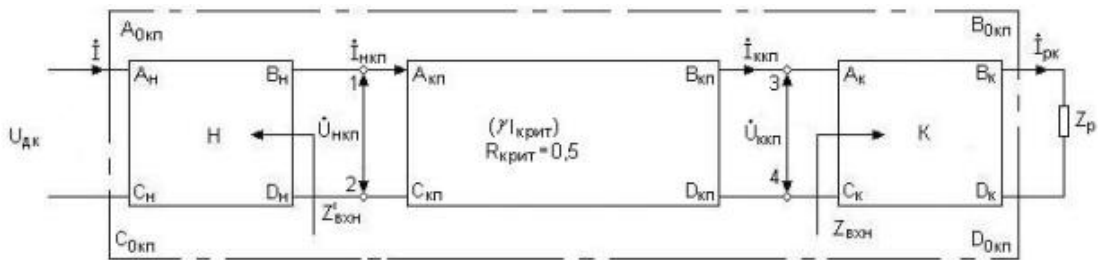


Рис. 2.10. Схема заміщення рейкового кола для контрольного режиму

$$S_1 = 1; \quad S_2 = 1$$

$$E := \sqrt{1 + \frac{4 \cdot j \cdot \omega \cdot M_{12}}{Z}} \quad |E| = 1.726$$

Визначимо коефіцієнти 4-полюсника для контрольного режиму:

$$A_{kp} = \cosh(\gamma \cdot l_{kr}) + \frac{1}{2} \cdot E \cdot \sqrt{(1 + 2 \cdot m)} \cdot [\sinh(\gamma \cdot l_{kr}) \cdot (S_1 + S_2)]$$

$$A_{kp} = 4.703 + 5.539i$$

$$B_{kp} = \frac{Z \cdot l}{\gamma \cdot l_{kr}} \cdot [\sinh(\gamma \cdot l_{kr}) + \frac{1}{2} \cdot E \cdot \sqrt{(1+2 \cdot m)} \cdot (\cosh(\gamma \cdot l_{kr}) + 1) \cdot (S_1 + S_2)]$$

$$B_{kp} = 5.634 + 11.249i$$

$$C_{kp} = \frac{(\gamma \cdot l_{kr})}{Z \cdot l} \cdot [\sinh(\gamma \cdot l_{kr}) + \frac{1}{2} \cdot E \cdot \sqrt{(1+2 \cdot m)} \cdot (\cosh(\gamma \cdot l_{kr}) - 1) \cdot (S_1 + S_2)]$$

$$C_{kp} = 4.211$$

$$D_{kp} = A_{kp} = 4.703 + 5.539i$$

Знайдемо опір передачі при контрольному режимі:

$$Z_{pkp} = K_{tm} \cdot K_{tk} \cdot [A_{kp} \cdot Z_{vzk} + B_{kp} + (C_{kp} \cdot Z_{vzk} + D_{kp}) \cdot Z_{vxn}]$$

$$|Z_{pkp}| = 1.836 \times 10^4$$

Знайдемо напругу джерела при контрольному режимі:

$$U_{dkp} = K_{vn} \cdot I_r \cdot |Z_{pkp}|$$

$$U_{dkp} = 316.788$$

Визначимо коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки:

$$K_{kp} = \frac{U_{dkp}}{U_f}$$

$$|K_{kp}| = 1.731$$

## 2.6 Експериментальна перевірка розробленого методу

Для розрахунку коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії, а так само порівняння їх з нормативними коефіцієнтами використовувався математичний пакет MathCAD. За нормативні значення коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії беруться значення А, В, С, D, при питомому опорі рейок із сталевими приварними з'єднувачами  $Z=0,8 e^{j65^\circ}$  Ом/км, питомим опір ізоляції рейкової лінії  $\gamma=1$  Ом·км, довжині рейкового ланцюга  $l=2600$ м:

$$A=D= 3.884e^{j75^\circ 17'}; B= 3.39e^{j106^\circ 47'} \text{ Ом}; C= 4,709 e^{j43^\circ 32'} \text{ СМ}$$

Припустимо, з лінійного контролера діагностичної системи отримали наступні значення напруги і струму на ПОбС-3А і на колійному елементі реле ИМВШ-110:

$$U_{1н} = 160 \text{ В}, I_{1н} = 0,85 \text{ А}, U_{2к} = 3,8 \text{ В}, I_{2к} = 0,02 \text{ А}.$$

Для знаходження напруги і струмів початку  $U_1, I_1$ , і кінця  $U_2, I_2$  рейкової лінії, скористаємося формулами (2.8) - (2.11):

$$I_1 = \frac{C_H U_{1н} - A_H I_{1н}}{C_H B_H - D_H A_H} = 6,112 e^{j67^\circ 82'} = 6,112$$

$$U_1 = \frac{U_{1н} - B_H I_{1н}}{I_1} = 5,527 e^{j78^\circ 85'} = 5,527$$

$$I_2 = A_K U_{2к} + B_K I_{2к} = 1,236 e^{j24^\circ 55'} = 1,237$$

$$U_2 = C_K U_{2к} + B_K I_{2к} = 0,314 e^{j3^\circ 82'} = 0,315$$

Знаходимо параметри чотириполюсника рейкової лінії (2.12) - (2.14):

$$A = \frac{I_1 U_1 + U_2 I_2}{I_1 U_2 + U_1 I_2} = 3,771 e^{j86^\circ 35'}$$

$$C = \frac{I_1 - A I_2}{U_2} = 4,619 e^{j60^\circ 2'}$$

$$B = \frac{A^2 - 1}{C} = 3,294 e^{j53^\circ 20'}$$

Порівнюємо на скільки, в процентному співвідношенні, відрізняються розраховані коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії від номінальних значень:

$$\frac{|A_n - A|}{A_n} \cdot 100\% = 2,9$$

$$\frac{|B_n - B|}{B_n} \cdot 100\% = 2,8$$

$$\frac{|C_n - C|}{C_n} \cdot 100\% = 1,9$$

У ході проведення експериментальних розрахунків відхилення розрахункових та експериментальних значень не перевищило 3%, що цілком допустимо для діагностичної системи рейкових кіл, тому на подальші розрахунки, а потім і прогноз роботи серйозного впливу не внесуть.

Розроблений метод автоматизованої діагностики кодового РК 50 Гц є працездатним і придатним для використання на залізничному транспорті.

### 3. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ РЕЙКОВИХ КІЛ НА ПЕРЕГОНІ 50 ГЦ

#### 3.1 Структурна схема системи дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц

Апаратної частини дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц представляє собою структуру з трьох рівнів. На нижньому рівні розміщуються лінійні блоки. Після проміжних розрахунків, сигнал із кожного лінійного блока передається на центральний контролер (середній рівень) за допомогою спеціальної лінії зв'язку (рис. 3.1). Центральний контролер розміщується на станціях, які обмежують даний перегін, у приміщенні чергового по станції або у релейних приміщеннях даних станцій. З центральних контролерів інформація надсилається результати до автоматизованого робочого місця (АРМ) диспетчера та АРМ електромеханіка (вищий рівень).

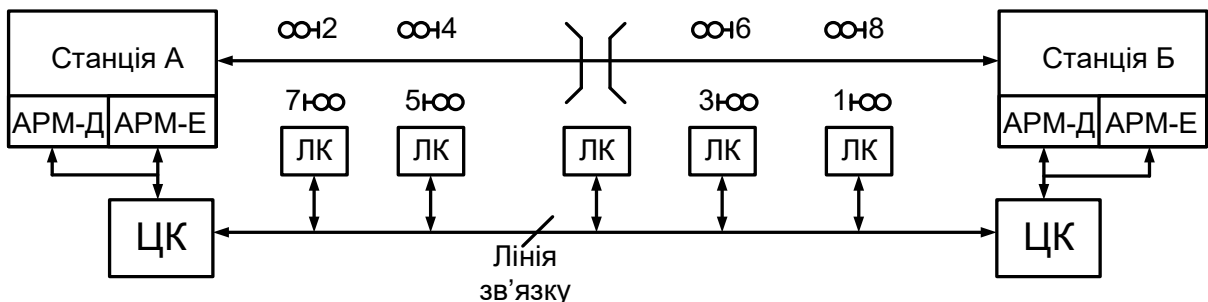


Рис. 3.1. Структурна схема системи діагностики рейкового кола

Пристроєм контролю вищого рівня є автоматизоване робоче місце на базі персонального комп'ютера (ПК) типу ІВМ РС. Завдання даного пристрою насамперед полягає в зборі, обробці та зберігання інформації у базі даних. Автоматизоване робоче місце диспетчера (АРМ-Д) призначений для відображення черговому по станції поїзної ситуації, стану пристроїв систем автоматики на перегоні. Автоматизоване робоче місце електромеханіка (АРМ-Е) використовуючи можливості технічної діагностики системи, дозволяє, контролювати роботу систем автоматики на перегоні, проводити планові перевірки технічного стану системи та аналізувати помилки.

Центральні контролери призначені для збору інформації з лінійних пунктів. Інформація після обробки також передається через USB-порт на ПК для подальшої обробки. До пристроїв центрального пункту входить центральний контролер, який виконаний на мікроконтролері PIC18F4520, та який керує іншими пристроями цього блоку.

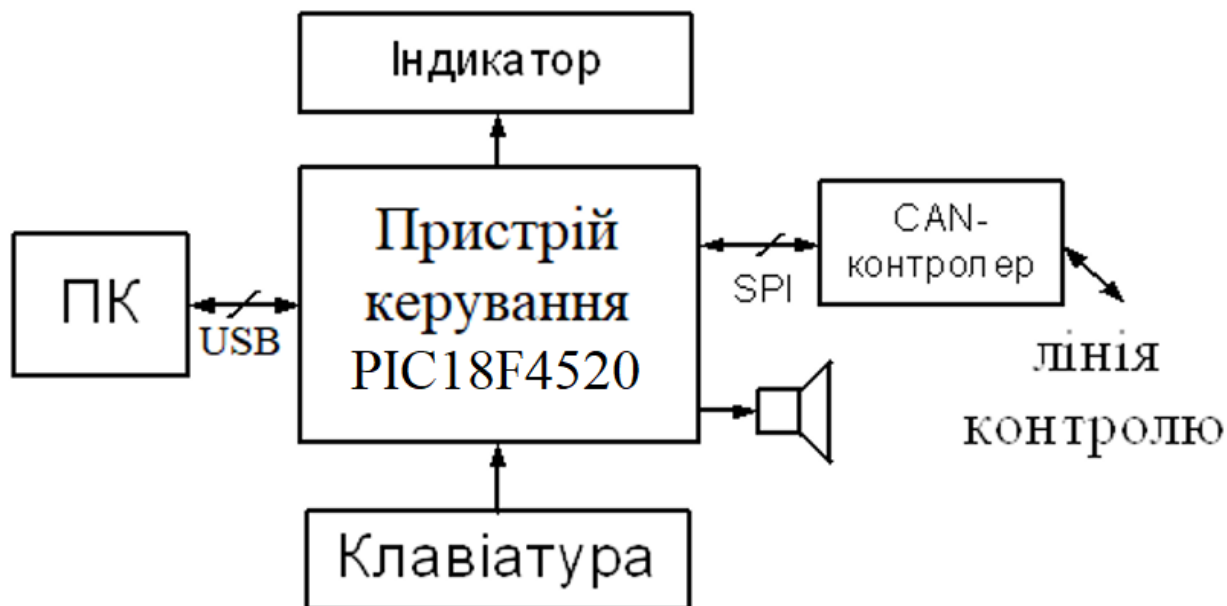


Рис. 3.2. Структурна схема центрального контролера

Центральний контролер виконує наступні завдання:

- організовує циклічний контроль технічного стану пристроїв систем автоматики на перегоні;
- постійно зберігає актуальну інформацію, щодо стану усіх лінійних контролерів;
- організує передачу даних між АРМом та центральним контролером через USB-інтерфейс;
- керує режимами роботи лінійних контролерів;
- вмикання аварійної сигналізацію, у разі відсутності зв'язку з АРМом.

Лінійний пункт спроектований на базі PIC-мікроконтролера, а саме, PIC18F2520 (рис. 3.3). Головними завданнями даного контролера є:

- збір інформації щодо технічного стану рейкового кола;
- первинна обробка інформації щодо технічного стану рейкового кола;

- передача даних до центральний контролер по запиту центрального контролера.

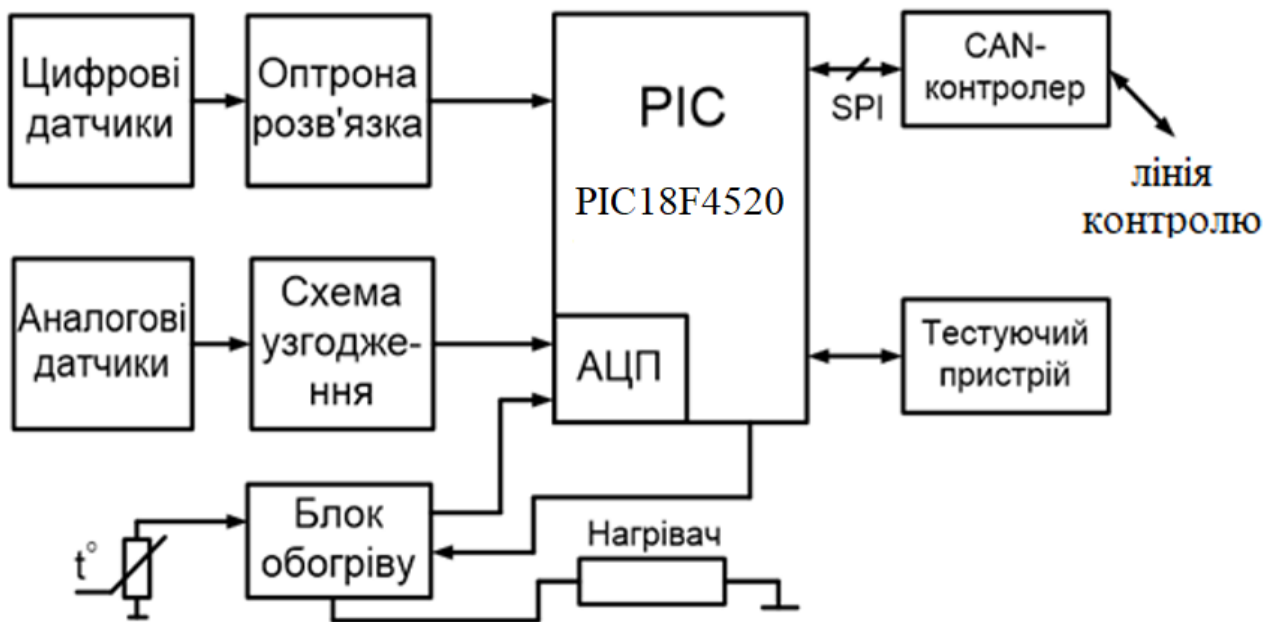


Рис. 3.3. Структурна схема лінійного контролера

### 3.2 Центральний контролер системи дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні 50 Гц

При розробці мікроконтролерних пристроїв, які повинні взаємодіяти з персональним комп'ютером, велике значення має правильність вибору протоколу обміну даними. В даний час найбільш популярним протоколом обміну даними між комп'ютером і периферійними пристроями є протоколи USB (Universal Serial Bus, універсальна послідовна шина). По цій шині можуть передаватися як більші масиви даних (інколи в режимі реального часу), так і керуючі команди. Завдяки такій універсальності, спектр периферійних пристроїв, підключених до комп'ютера, майже не обмежений технічною точкою зору.

Більшість периферійних пристроїв розробляється на основі різних мікроконтролерів. Достатньо давно розроблені спеціалізовані мікросхеми-трансівери, що обслуговують обмін по шині USB і є проміжним зв'язком між власним мікроконтролером і шиною. Очевидно, що наступним логічним кроком стала

інтеграція трансівера USB в склад мікроконтролерів, аналогічно тому, як в них раніше були інтегровані модулі АЦП, ШІМ, USART та інші.

В асортиментній лінії компанії Microchip є модифікації мікроконтролера з вбудованою підтримкою USB PIC18F2455/2550/4455/4550 з вбудованою FLASH-пам'яттю. Основними перевагами мікроконтролерів PIC18F2455/2550/4455/4550 є функціональна наповненість і низьке енергоспоживання на основі різних програмованих опцій енергозбереження і фірмової технології nanoWatt.

### **Параметри модуля USB:**

- Сумісність із USB V2.0.
- Підтримка низькошвидкісного (1.5 Мбіт/с) та високошвидкісного (12 Мбіт/с) режимів.
- Підтримка керуючої, переривання, ізохронної та пакетної передачі.
- Підтримка до 32 кінцевих точок (16 двонаправлених).
- 1 кБ ОЗУ подвійного доступу для потреб USB.
- Вбудований USB-трансівер.
- Вбудоване джерело живлення USB. Можливість підключення зовнішнього USB-трансівера.
- Поточковий порт SPP для введення-виведення потоку паралельних даних через USB.

### **Режими управління енергоспоживанням:**

- Run: процесор увімкнено, периферія включена.
- Idle: процесор зупинено, периферія увімкнена.
- Sleep: процесор та периферія вимкнені.
- Типовий струм у режимі Idle до 5,8 мкА.
- Типовий струм у режимі Sleep до 0,1 мкА.
- Генератор модуля Timer1: споживання до 1,1 мкА при 32 кГц, 2 В.
- Сторожовий таймер: до 2,1 мкА.

### **Гнучка структура генератора тактових імпульсів:**

- Чотири режими кварцового генератора, включаючи особливо точний для USB.
- Чотири режими зовнішнього тактування, до 48 МГц.

- Блок вбудованого генератора: 8 частот, що вибираються користувачем, від 31 кГц до 8 МГц; можливість підстроювання частоти для компенсації дрейфу.
- Вторинний генератор на основі генератора модуля Timer1, 32 кГц.
- Можливість незалежного тактування процесора та модуля USB.
- Моніторинг тактових імпульсів: можливість безпечної зупинки при зникненні імпульсів основного тактового генератора.

### **Опції периферії:**

- Вхідний і вихідний струм до 25 мА.
- Три зовнішні переривання.
- Чотири модулі таймерів.
- До двох модулів захвату/порівняння/ШИМ:
  - захоплення 16 біт, з роздільною здатністю до 6,25 нс ( $T_{cy}/16$ );
  - порівняння 16 біт, з роздільною здатністю до 100 нс ( $T_{cy}$ ).
- ШИМ з роздільною здатністю від 1 до 10 біт.
- Розширений модуль захвату/порівняння/ШИМ (ECCP): різні вихідні режими; полярність на вибір; програмована «мертва зона»; автовідключення та авторестарт.
- Розширений модуль USART (EUSART): підтримка шини LIN.
- Модуль провідного синхронного послідовного порту (MSSP) з підтримкою SPI (всі чотири режими) і I2C (ведучий і ведений).
- До 13 модулів 10-розрядного АЦП з програмованим часом вибірки.
- Здвоєний аналоговий компаратор із мультиплексуванням входів.

### **Спеціальні опції мікроконтролера:**

- Структура, що оптимізована під компілятор C, з розширеним набором команд.
- 100 000 циклів перезапису пам'яті програм.
- 1 000 000 циклів перезапису пам'яті даних EEPROM.
- Термін зберігання пам'яті програм та даних понад 40 років.
- Можливість самопрограмування (зміни прошивок).
- Наявність пріоритетів переривань.
- Апаратний множник 8x8.
- Розширений сторожовий таймер:

- Програмований період від 41 мс до 131 с.
- Програмований захист коду.
- Внутрішньосхемне програмування по двох дротах.
- Внутрішньосхемне налагодження по двох проводах (ICD).
- Широкий діапазон напруги живлення, від 2,0 до 5,5 В.

### 3.2.1 Розташування та призначення виводів

Кількість та призначення висновків корпусу залежить від типу корпусу та конкретного варіанта мікроконтролера. На рис. 3.4 показано розміщення виводів для корпусів типу DIP.

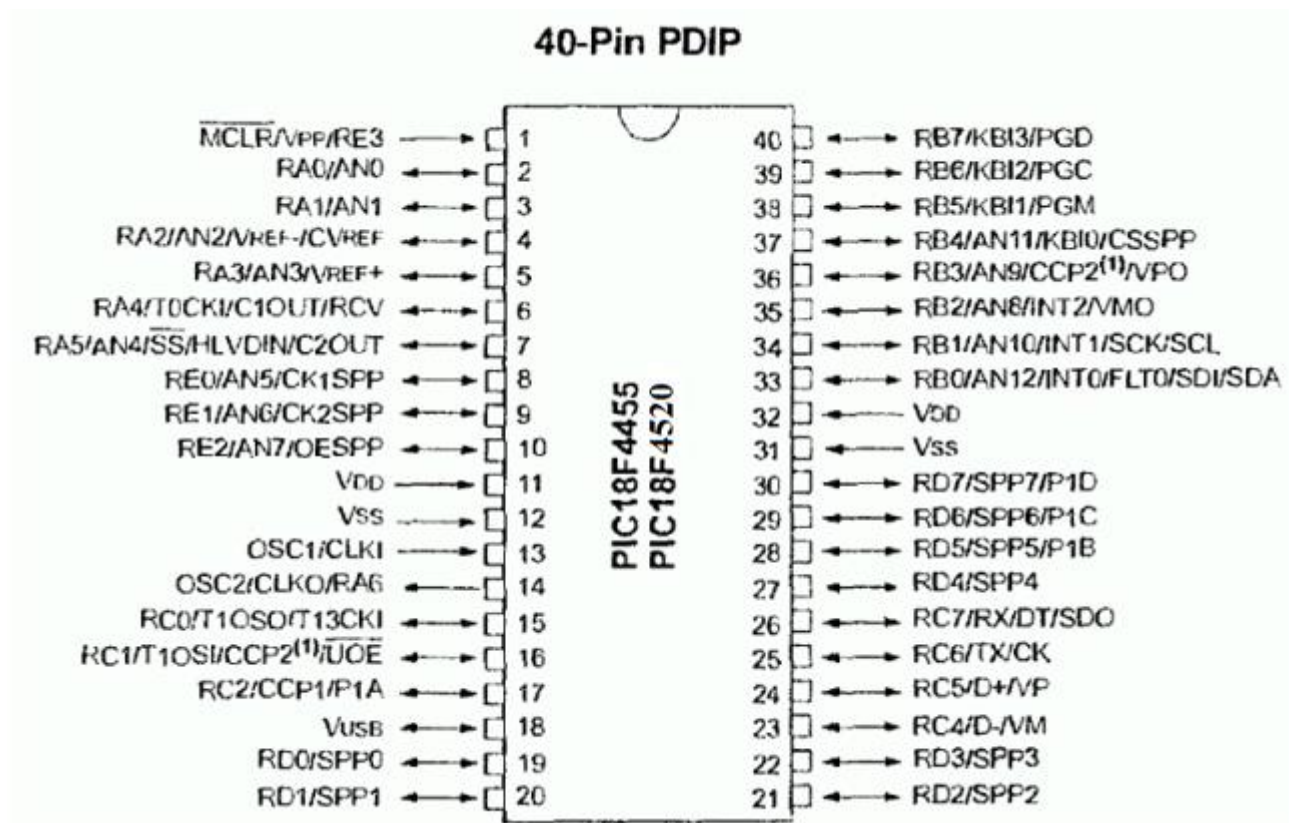


Рис. 3.4 Розміщення висновків корпусів типу DIP

Таблиця 3.1 - Призначення виводів PIC18F4455/4520

Позначення виводів	Номер	Тип	Буфер	Опис
<u>MCLR</u> /Vpp/RE3  MCLR Vpp RE3	1	I P I	ST  ST	Вхід загального скидання чи напруги програмування: Загальне скидання низьким рівнем Вхід напруги програмування Цифровий вхід
OSC1/CLKI	9	I	A	Підключення резонатора або вхід зовнішніх тактів
OSC2/CLKO/RA6  RA6	10	O I/O	 TTL	Підключення резонатора або вихід тактових імпульсів Порт введення-виведення загального призначення
RA0/AN0 RA0 AN0	2	I/O I	TTL A	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 0
RA1/AN1 RA1 AN1	3	I/O I	TTL A	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 1
RA2/AN2/VREF/CVREF RA2 AN2 VREF CVREF	4	I/O I I O	TTL A A A	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 2 Вхід опорної напруги АЦП (низька) Вихід опорного рівня компаратора
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF	5	I/O I I	TTL A A	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 3 Вхід опорної напруги АЦП (висока)
RA4/T0CKI/C1OUT /RCV RA4 T0CKI  C1OUT RCV	6	I/O I  O I	 ST ST  - TTL	Цифровий вхід/вихід Вхід зовнішніх рахункових імпульсів модуля Timer0 Вихід компаратора 1 Вхід RCV USB-трансівера
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT RA5 AN4 SS HLVDIN  C2OUT	7	I/O I I I  O	TTL A TTL A  -	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 4 Вхід вибору SPI Вхід модуля виявлення перепаду "High/Low" Вихід, компаратора 2
RB0/AN12/INT0/FLT0/ SDI/SDA RB0 AN12 INT0 FLT0  SDI SDA	21	I/O I I I  I I/O	TTL A ST ST  ST ST	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 12 Зовнішнє переривання 0 Вхід помилки ШИМ (модуль PCP1) Вхід даних SPI Вхід/вихід даних 12C

RB1/AN10/INT1/SCK/ SCL RB1 AN10 INT1 SCK  SCL	22	I/O I I I/O  I/O	TTL A ST ST  ST	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 10 Зовнішнє переривання 1 Вхід/вихід синхроімпульсів для режиму SPI Вхід/вихід синхроімпульсів для режиму I2C
RB2/AN8/INT2/VMO RB2 AN8 INT2 VMO	23	I/O I I O	TTL A ST -	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 8 Зовнішнє переривання 2 Вихід VMO USB-трансівера
RB3/AN9/CCP2/VPO RB3 AN9 CCP2(1)  VPO	24	I/O I I/O  O	TTL A ST  -	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 9 Capture2/ вихід Compare2/ вихід PWM2
RB4/AN11/KBI0 RB4 AN11 KBI0	25	I/O I I	TTL A TTL	Цифровий вхід/вихід Аналоговий вхід 11 Висновок переривання щодо зміни стану
RB5/KBI1/PGM RB5 KBI1  PGM	26	I/O I  I/O	TTL TTL  ST	Цифровий вхід/вихід Вивід переривання щодо зміни стану Включення низьковольтного програмування ICSP
RB6/KBI2/PGC RB6 KBI2  PGC	27	I/O I  I/O	TTL TTL  ST	Цифровий вхід/вихід Вивід переривання щодо зміни стану Внутрішньосхемне налагодження та тактування ICSP
RB7/KBI3/PGD RB7 KBI3  PGD	28	I/O I  I/O	TTL TTL  ST	Цифровий вхід/вихід Вивід переривання щодо зміни стану Внутрішньосхемне налагодження та дані ICSP
RC0/T1OSO/T13CKI RC0 T1OSO T13CKI	11	I/O O I	ST - ST	Цифровий вхід/вихід Вхід генератора Timer1 Вхід зовнішніх імпульсів Timer1/Timer3
RC1/T1OSI/CCP2/ UOE RC1 T1OSI CCP2(2)  UOE	12	I/O I I/O  -	ST CM OS ST  -	Цифровий вхід/вихід Вхід генератора Timer1 Вхід Capture2/ вихід Compare2/вихід PWM2 Вихід OE зовнішнього USB-трансівера
RC2/CCP1	13			

RC2 CCP1		I/O I/O	ST ST	Цифровий вхід/вихід Вхід Capture1/вихід Compare1/вихід PWM1
RC4/D-/VM RC4 D- VM	15	I I/O I	TTL - TTL	Цифровий вхід/вихід Негативна диф. лінія USB (Вхід/вихід) Вхід SM зовнішнього USB-трансівера
RC5/D+/VP RC5 D+ VP	16	I I/O O	TTL - TTL	Цифровий вхід/вихід Позитивна диф. лінія USB (Вхід вихід) Вхід VP зовнішнього USB-трансівера
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	I/O O I/O	ST - ST	Цифровий вхід/вихід Синхронні такти EUSART (див. RX/DT)
RC7/RX/DT/SDO RC7 RX DT SDO	18	I/O I I/O O	ST ST ST -	Цифровий вхід/вихід Асинхронний прийом EUSART Синхронні дані EUSART (см. RX/DT) Вихід даних SPI
VUSB	14	O	-	Вбудований регулятор USB 3.3V
VSS	8, 9	P	-	«Земля» для логіки та портів вводу/ виводу
VDD	20	P	-	Напруга живлення для логіки та портів

**Позначення:** TTL - сумісний за рівнями з логікою TTL; CMOS – сумісний с CMOS; ST - тригер Шоттки на вході, з рівнями CMOS; O - вихід, I – вхід, P – живлення.

### 3.2.2 Універсальна послідовна USB шина

Перша специфікація, USB 1.0, була опублікована в 1996 р. Восени 1998 р. затверджено специфікацію 1.1, що усуває проблеми попередньої версії. Навесні 2000 р. введено версію USB 2.0, згідно з якою максимальна швидкість передачі даних збільшилася в 40 разів. Специфікації 1.0 та 1.1 забезпечують роботу на швидкостях 1,5 Мбіт/с та 12 Мбіт/с, тоді як специфікація USB 2.0 – 480 Мбіт/с. Відповідно до чинної специфікації, пристрої USB повинні бути сумісні за версіями «знизу нагору». Мікроконтролери серії PIC18Fxxxx, що розглядаються, сумісні з хостами всіх версій, включаючи USB 2.0, але забезпечують швидкість обміну не більше 12 Мбіт/с (USB 1.1).

Оскільки ми описуємо мікроконтролер, який застосовується тільки для створення кінцевих пристроїв користувача (хост-контролер є зовсім іншим пристроєм

на основі елементної бази інших виробників), то звернемося до логічної структури узагальненого USB пристрою, показаної на рис. 3.5.

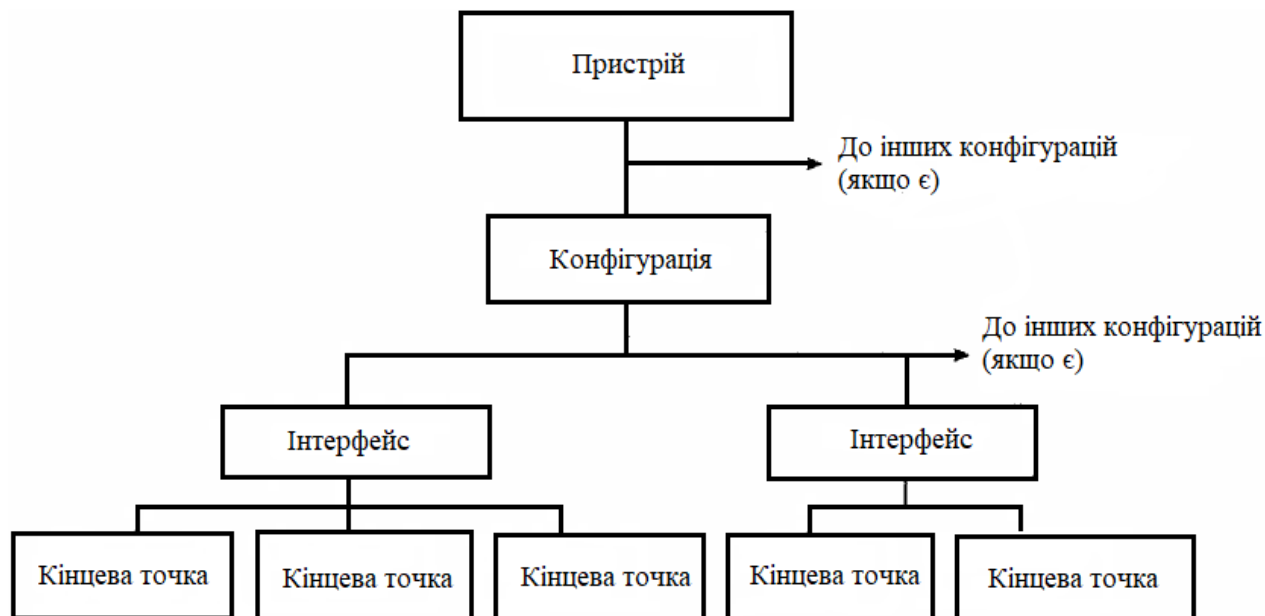


Рис. 3.5. Логічна структура узагальненого USB пристрою

Кожен логічний рівень асоційований із функціональним рівнем пристрою. Найвищому рівню відповідає пристрій загалом. Цей пристрій може мати кілька різних конфігурацій. Наприклад, пристрій може мати різні конфігурації живлення: «живлення від зовнішнього джерела» та «живлення від шини». Компактний флеш-накопичувач може одночасно підтримувати конфігурації «двонаправлений обмін» та «тільки читання (захист від запису)». Існують і складніші приклади. Кожна конфігурація може мати власний інтерфейс обміну даними. Зокрема, може бути реалізована передача даних на запит хоста або на запит пристрою і т.д.

Далі в логічній ієрархії йдуть кінцеві точки. Це поняття означає початковий пункт вихідних даних або кінцевий пункт вхідних даних. У процесі обміну даними хост-контролер «бачить» пристрій користувача як набір кінцевих точок. З апаратної точки зору кінцева точка це буфер, що зберігає кілька байт. Зазвичай це регістр мікроконтролера або невеликий блок даних у пам'яті. За замовчуванням, після увімкнення живлення та отримання пристроєм сигналу скидання по шині, доступна кінцева точка 0, через яку хост запитує тип і параметри пристрою, а також здійснює його конфігурування.

Усі дані групуються по кадрах тривалістю  $1,0 \pm 0,0005$  мс. Передача кадру ініціюється лише хост-контролером, який здійснює обмін із пристроями відповідно до свого плану розподілу ресурсів. Кожен кадр може містити кілька транзакцій для різних пристроїв та кінцевих точок. Специфікацією передбачено чотири типи передачі даних:

- Керуюча передача (Control Transfer) застосовується для налаштування уст­ройства при підключенні, для управління протоколом передачі та отримання статусної інформації у процесі роботи.
- Передача масиву даних (Bulk Data Transfer) застосовується за потреби гарантованої доставки даних від пристрою до хоста або навпаки, але час доставки не обмежений.
- Передача переривань (Interrupt Transfer) застосовується, коли потрібно передавати одиночні пакети даних невеликого розміру. Кожен пакет передається за обмежений час. Гарантується цілісність даних, що передаються. Цей тип передачі застосовується у пристроях введення, таких як миша та клавіатура.
- Ізохронна передача (Isochronous Transfers) використовується для передачі великих блоків даних (до 1023 байт) у режимі реального часу. Цілісність даних не гарантується, повторень при збоях немає, допускається втрата пакетів. Цей тип передачі зазвичай використовується у мультимедійних пристроях для передачі голосу та зображення.

Дозволяється живлення пристрою безпосередньо від шини, в ній передбачені спеціальні лінії живлення. У цьому випадку вимоги до енергоспоживання пристрою жорстко регламентуються специфікацією. Передбачено три класи енергоспоживання:

- З живленням від шини та малим споживанням, не більше 100 мА.
- З живленням від шини та великим споживанням; повинні споживати від шини не більше 100 мА при включенні та конфігуруванні та не більше 500 мА після завершення конфігурування. При підключенні пристрій повідомляє хост-контролеру про споживаний струм. Якщо вона перевищує 500 мА, у підключенні буде відмовлено.

- З власним джерелом живлення; від шини споживається трохи більше 100 мА, решта струму від зовнішнього джерела. При зникненні зовнішнього живлення струм, що споживається від шини, не повинен перевищувати 100 мА.

Якщо пристрій споживає струм більший, ніж був запитаний під час підключення, хост-контролер відмовить в обслуговуванні та відключить пристрій. Відповідно до специфікації USB, споживана потужність вимірюється у блоках (units) величиною 100 мА. Таким чином, потужність, що споживається пристроєм, може лежати в межах 1-5 блоків.

Специфікація передбачає наявність у будь-якого пристрою режиму зниженого енергоспоживання (Suspend Mode). У цьому режимі струм, що споживається, пропорційний заявленому споживанню в блоках.

Для пристрою із споживанням в 1 блок (100 мА) струм у режимі енергозбереження не повинен перевищувати 500 мкА, при цьому з урахуванням струму через підтягуючий резистор, підключений до однієї із сигнальних ліній. Якщо для підключення USB пристрою застосовується концентратор (хаб), обидві його сигнальні лінії мають резистори 15 кОм, підключені до «землі». Струм через ці резистори становить 200 мА. Відповідно, для живлення пристрою із споживанням в 1 блок при підключенні до хаба виділяється не більше 300 мА. Щоб пристрій не перевищив ліміт споживання в економічному режимі, рекомендується переводити мікроконтролер у режим Sleep.

Всі кінцеві пристрої повинні підтримувати режим сну за відсутності активності на шині більше 3 мс. Ще 7 мс дається пристрою на те, щоб перейти в «сплячий» режим. Для підтримки зв'язку з хост-контролером пристрій повинен забезпечувати протікання струму через підтягуючий резистор вибору швидкості. Наявність цього резистора говорить про те, що пристрій все ще підключено до шини. Хост-контролер може періодично передавати на шину сигнал SOF (початок пакета) щоб запобігти переходу пристрою в економічній.

### **Перерахування (Enumeration)**

Коли пристрій підключено до шини, хост починає процес перерахування, з метою ідентифікації пристрою. По суті, хост у визначеній послідовності опитує

пристрій, отримуючи у відповідь інформацію про енергоспоживання, швидкість передачі та розмір блоків даних і відчую інформацію, що міститься в дескрипторах. Типовий процес перерахування відбувається таким чином:

- Скидання пристрою. Пристрій не налаштований і не має власної адреси (адреса 0).
- Отримання дескриптора пристрою. Хост отримує малу частину опису пристрою.
- Повторне скидання пристрою.
- Встановлення адреси. Хост надає адресу пристрою.
- Отримання дескриптора пристрою. Хост отримує інформацію про виробника, тип пристрою, максимальний розмір керуючих пакетів.
- Отримання конфігураційних дескрипторів.
- Отримання інших дескрипторів.
- Налаштування конфігурації.

### **Дескриптори**

Існує вісім типів дескрипторів, з яких для пристроїв, що розглядаються, найбільш важливі п'ять:

**1. Дескриптор пристрою** містить основну інформацію про виробника пристрою (але не мікроконтролера, а виробу в цілому), номер версії виробу, серійний номер, клас пристрою та кількість конфігурацій. Дескриптор пристрою завжди буває лише один.

**2. Дескриптор конфігурації** надає хостові інформацію про споживаний струм і про те, скільки різних інтерфейсів підтримується в цій конфігурації. Пристрій може мати більше однієї конфігурації (наприклад, звичайного та зниженого споживання енергії).

**3. Дескриптор інтерфейсу** визначає кількість кінцевих точок, що використовуються даним інтерфейсом, а також клас інтерфейсу. Конфігурація може мати більше одного інтерфейсу.

**4. Дескриптор кінцевої точки** визначає тип і напрямок передачі, а також деякі інші специфічні параметри кінцевої точки. Один пристрій може мати кілька (до 16) кінцевих точок. Деякі кінцеві точки можуть бути «відключені» у певній конфігурації.

**5. Дескриптор рядка** містить текст у форматі UNICODE та надає текстову інформацію, доступну для сприйняття людиною. Ця інформація описує певний логічний рівень устрою. Часто дескриптор рядка використовується для ідентифікації споживачем пристрою, підключеного до хоста.

Модуль USB конфігурується та керується за допомогою трьох керуючих реєстрів. Крім того, загалом 19 реєстрів використовуються для керування поточними транзакціями USB:

- Керуючий реєстр USB (UCON).
- Реєстр конфігурації USB (UCFG).
- Реєстр статусу USB (USTAT).
- Реєстр адреси USB-пристрою (UADR).
- Реєстр номера кадру (UFRMH: UFRML).
- Реєстри включення кінцевих точок від 0 до 15 (UEPn).

**Керуючий реєстр UCON** містить біти, необхідні управління поведінкою модуля під час обміну даними. Крім того, реєстр UCON містить біт статусу SEO, який застосовується для індикації стану лінійного нуля шини (Single Ended Zero), коли на обох висновках D- і D+ є низький рівень. Коли модуль USB увімкнено, стан цього біта відстежується для виявлення виходу диференціальних шини з нульового стану. Це дозволяє розрізнити початкове увімкнення пристрою та сигнал скидання пристрою. Загальне функціонування модуля USB залежить від USB-біта (UCON<3>). Установка цього біта активує модуль та скидає всі біти PPBI у таблиці буфера дескрипторів. Крім цього, вмикається вбудований регулятор напруги, і підключаються внутрішні навантажувальні резистори, якщо їх підключення додатково задано. Таким чином, цей біт може застосовуватись для програмного увімкнення/ вимкнення модуля USB. Незважаючи на те, що всі біти статусу та конфігурації ігноруються, коли цей біт скинутий, модуль USB повинен бути повністю налаштований до моменту встановлення біта USBEN у «1».

**Реєстр конфігурації UCFG.** Перед початком передачі даних по шині USB необхідно провести конфігурування внутрішньої та асоційованої зовнішньої апаратної частини модуля USB. Основна частина конфігурування осу - існує за

допомогою регістру UCFG. Регістр містить більшість бітів, що впливають на поведінку USB модуля на різних логічних рівнях, а саме:

- Швидкість шини.
- Увімкнення вбудованих навантажувальних резисторів.
- Увімкнення вбудованого трансівера.
- Використання запитів та буферів Ping-Pong.

Регістр UCFG також містить два біти, які призначені для тестування модуля, налагодження та сертифікації. Ці біти управляють моніторингом виходів та генерацією наочних діаграм. Швидкість шини, а також включення трансівера та навантажувальних резисторів повинні бути налаштовані один раз, на етапі налаштування. Не рекомендується змінювати установки, коли модуль увімкнений і почав працювати.

### **Регістри стану та управління USB**

Регістр стану USTAT демонструє статус транзакції у ядрі SIE. Коли SIE виставляє переривання після закінчення передачі через USB, програма користувача повинна прочитати USTAT для визначення статусу передачі. У цьому регістрі міститься номер кінцевої точки, задіяної в передачі, напрямок та значення вказівника на буфер Ping-Pong (якщо він використовується). Фактично, регістр USTAT є вікном для читання у чотирибайтному стеку статусу, організованому за принципом FIFO та вбудованому у ядро SIE. Це дозволяє мікроконтролеру обробити одну передачу, поки SIE обслуговує інші кінцеві точки. Коли ядро закінчує використання буфера для читання або запису даних, відбувається оновлення регістру USTAT. Якщо наступна передача USB розпочинається, перш ніж переривання попередньої передачі оброблено, ядро SIE збереже статус наступної передачі в стек статусу. Скидання прапор-біта TRNIF змушує ядро зрушити стек статусу. Якщо наступні дані у регістрі стека є валідними, ядро SIE негайно знову встановить прапор переривання. Якщо нових даних немає, прапор-біт TRNIF залишиться скинутим, дані в регістрі USTAT далі не вважатимуться достовірними. Якщо запит до кінцевої точки буде прийнято, коли стек статусу заповнений, ядро автоматично надішле хосту сигнал NAK (зайнятий, до обміну не готовий).

## **Регістр управління кінцевими точками UEPn**

Кожна з 16 двонаправлених кінцевих точок має свій незалежний керуючий регістр UEPn (де «n» означає номер кінцевої точки). Кожен регістр має ідентичний набір бітів, що управляють, як показано далі:

bit7-5 не використовується, читається, як «0»;

bit4 EPHSHK біт включення опції Handshake (підтвердження): 1 = опція включена; 0 = опція відключена (зазвичай для ізохронних кінцевих точок);

bit3 EPCONDIS керуючий біт двонаправленої кінцевої точки якщо EPOUTEN=1 і EPINEN=1: 1 = кінцева точка відключена від керуючих передач (допускаються лише передачі типу IN та OUT); 0 = допускаються управляючі передачі типу SETUP (передачі IN і OUT також допускаються);

bit2 EPOUTEN біт дозволу виходу кінцевої точки: 1 = вихід кінцевої точки п дозволено; 0 = вихід кінцевої точки п заборонено;

bit1 EPINEN біт дозволу входу кінцевої точки: 1 = вхід кінцевої точки п дозволений; 0 = вхід кінцевої точки п заборонено;

bit0 EPSTALL біт зупинки кінцевої точки: 1 = кінцева точка встановлена; 0 = кінцева точка та не зупинена.

## **Регістр адреси UADDR**

Регістр адреси містить унікальну USB-адресу, яка декодується периферією, якщо вона активна. UADDR скидається в 00° при отриманні команди USB Reset, що індикується прапор-бітом переривання URSTIF, або по команді Reset, отриманої від мікроконтролера. Адреса USB повинна бути записана мікроконтролером під час етапу налаштування пристроїв USB (перерахування).

## **Регістри номера кадру UFRMH: UFRML**

Пара регістрів UFRMH: UFRML містить 11-розрядний номер кадру. Молодший байт містить значення UFRML, три старші біти містяться в UFRMH. Регістрова пара отримує нове значення щоразу, коли надходить токен SOF. З боку мікроконтролера це регістр доступний лише читання. Регістр номера кадру використовується в першу чергу під час ізохронного обміну даними.

## **ОЗП USB**

Дані USB переміщуються між ядром мікроконтролера та ядром SIE через область пам'яті, яка називається ОЗУ USB. Це спеціальна двопортова пам'ять, яка відображається на звичайний простір пам'яті, розташований у банках з 4 по 7 (400h...7FFh), сумарним об'ємом 1 кб (рис.2.6).

Банк 4 (400h...4FFh) використовується спеціально для керування буфером кінцевих точок, тоді як банки з 5 до 7 доступні для даних USB. Незважаючи на те, що ОЗУ USB доступне мікроконтролеру, як пам'ять даних, сегмент доступний ядру SIE, не може бути доступний мікроконтролеру.

### **Дескриптори буфера та таблиця дескрипторів**

Регістри Банку 4 використовуються виключно для управління буфером кінцевих точок у структурі, званої таблицею дескриптора буфера (Buffer Descriptor Table, BDT). Ця опція надає користувачеві метод гнучкого створення та керування буферами контрольних точок різної довжини та конфігурації. BDT складається з дескрипторів буфера, які використовуються для визначення та керування буферами у просторі ОЗУ USB. Кожен дескриптор буфера (рис. 2.7) складається з чотирьох регістрів, де є 64 можливі номери дескрипторів (в діапазоні від 0 до 63):

- BDnSTAT – регістр статусу дескриптора.
- BDnCNT – регістр лічильника байтів дескриптора.
- BDnADRL – регістр адреси, молодший байт.
- BDnADRH – регістр адреси, старший байт.

Дескриптори буфера завжди є чотирибайтним блоком в наступній послідовності: BDnSTAT: BDnCNT: BDnADRL: BDnADRH. Адреса регістру BDnSTAT завжди відраховується зі зсувом у шістнадцятирічній системі, від початкової адреси 400h.

Залежно від конфігурації буфера, що використовується, може бути до 32 або 64 наборів дескрипторів буфера. Як мінімум, BDT повинен мати довжину не менше 8 байт, оскільки специфікація USB має на увазі, що кожен пристрій повинен мати нульову кінцеву точку з функціями введення та виведення для початкового налаштування. Залежно від конфігурації кінцевих точок BDT може мати довжину аж до 256 байт.

Незважаючи на те, що регістри дескрипторів буфера та адреси можуть розглядатися, як спеціальні керуючі регістри, вони не відображаються апаратно, у вигляді умовних спеціальних регістрів Банку 15. Якщо кінцева точка, яка відповідає певному дескриптору буфера, відключена, цей регістр не буде використано. Замість звернення до неіснуючої адреси відбувається звернення до ОЗП. Тільки якщо кінцева точка включена установкою біта  $UEP_n < 1 >$ , ці адреси набувають функціональності регістрів дескриптора буфера. Як і будь-яка клітинка ОЗП, після скидання мікроконтролера регістри дескриптора буфера зберігають непередбачуване значення.

### **Статус та конфігурація дескрипторів буфера**

Дескриптори буфера описують як розмір буфера кінцевої точки, але й визначають його конфігурацію і управління. Основна частина конфігурації задається через регістр статусу BDnSTAT. Кожен дескриптор буфера має свій унікальний і відповідно пронумерований регістр BDnSTAT. На відміну від інших регістрів, що управляють, бітове зміст регістру BDnSTAT є контекстно-залежним. Існує дві різні конфігурації, що залежать від того, хто модифікує дескриптор і буфер в даний момент мікроконтролер або модуль USB.

### **Приналежність буфера**

Оскільки буфери та їх дескриптори є спільними для мікроконтролера та USB-модуля, для визначення того, кому доступні для оновлення дескриптори та асоційовані з ними буфери в пам'яті, застосовується простий семафорний механізм. Він реалізується використанням спеціального біта UOWN (BDnSTAT<7>). За допомогою цього біта відбувається перемикання між двома конфігураціями BDnSTAT.

Коли біт UOWN скинутий, доступ до дескриптора буфера «належить» ядру мікроконтролера. Коли біт встановлено, доступ до дескриптора та буферної пам'яті «належить» модулю USB. У цей час ядро мікроконтролера не може модифікувати дескриптори або буфери даних, пов'язані з ними. Майте на увазі, що мікроконтролер може продовжувати читати BDnSTAT, поки буфер належить модулю USB і навпаки.

Дескриптори буфера мають різне значення, залежно від джерела оновлення регістра. Перш ніж передати «право власності» модулю USB, користувач може налаштувати базову функціональність периферії за допомогою бітів BDnSTAT.

Коли біт UOWN встановлено, користувач більше не може впливати на значення, записані в дескрипторах. З цього моменту значення дескрипторів, за потреби, оновлює ядро SIE. Реєстр BDnSTAT оновлюється ядром SIE із записом токена PID, лічильник обміну байтами BDnCNT також оновлюється.

Байт BDnSTAT у таблиці дескрипторів завжди має бути останнім байтом, що оновлюється під час підготовки до використання кінцевої точки. Ядро SIE скине біт UOWN, коли транзакцію буде завершено. Виняток становить ситуація, коли увімкнено KEN та/або BSTALL (див. далі опис регістра BDnSTAT). Немає апаратного механізму блокування доступу, якщо біт UOWN встановлений. Отже, якщо мікроконтролер спробує модифікувати пам'ять, коли вона належить ядру SIE, це може призвести до непередбачуваного результату. Аналогічно, читання тієї ж пам'яті може повертати некоректні дані доти, доки ядро SIE не поверне право доступу мікроконтролера.

Реєстр BDnSTAT у режимі CPU (приналежність мікроконтролера) Коли UOWN=0, право доступу до дескриптора буфера належить мікроконтролеру. У цей час решта семи розрядів регістру виконують керуючі функції:

bit7 UOWN біт приладдя: 0 = ядро мікроконтролера має доступ до дескриптора і пов'язаного з ним буфера;

bit6 DTS біт синхронізації перемикання даних: 1 = пакет типу Data 1; 0 = пакет типу Data 0;

bit5 KEN біт включення режиму утримання дескриптора буфера: 1 = модуль USB продовжує утримувати дескриптор з першої установки біта UOWN (потрібна конфігурація кінцевої точки в SPP); 0 = USB відпускає дескриптор, коли токен оброблений;

bit4 INCDIS біт вимкнення інкременту адреси: 1 = інкремент адреси вимкнено (потрібно для конфігурації кінцевої точки в SPP); 0 = інкремент адреси включений;

bit3 DTSEN біт включення синхронізації перемикачів даних: 1 = синхронізація даних включена; пакети даних з некоректним значенням Bups будуть ігноровані; 0 = синхронізація даних відсутня;

bit2 BSTALL біт зупинки буфера: 1 = зупинка буфера включений; видається підтвердження STALL, якщо токен прийнято, що дозволяє використовувати дескриптор у поточному положенні (біт UOWN залишається встановленим, значення дескриптора не змінюється); 0 = зупинка буфера вимкнено;

bit1-0 BC9:BC8 біти 9 і 8 лічильника байтів. Біти лічильника байтів є кількістю байтів, які будуть передані по токenu IN або прийняті по токenu OUT. Разом із розрядами BC<7:0> може бути підраховано від 0 до 1023 байт.

Розряд KEN (BDnSTAT<5>) впливає утримання дескриптора буфера. Якщо розряд встановлений, коли встановлюється біт UOWN, регістр починає належати ядру SIE незалежно від роботи кінцевої точки. Це захищає стек USTAT FIFO від зміни, одночасно не даючи встановити переривання після завершення транзакції для цієї точки. Ця опція використовується лише у випадку, якщо для передачі даних використовується потоковий паралельний порт, а не USB.

Розряд INCDIS (BDnSTAT<4>) управляє функцією автоматичного інкременту адреси ядра SIE. Встановлення цього розряду відключає автоінкремент адреси буфера під керуванням SIE при передачі або прийомі кожного байта. Ця опція повинна використовуватися тільки якщо застосовується потоковий паралельний порт, коли кожен байт даних направляється або передається із застосуванням їм однієї й тієї ж осередку пам'яті.

Розряд DTSEN (BDnSTAT<3>) керує перевіркою парності. Установка розряду включає синхронізацію SIE. Перевіряється парність пакету даних, наприклад, до типу, вказаного розрядом DTS (BDnSTAT<6>). Якщо пакет отримано з некоректною синхронізацією (прийнятий несинхронно), дані будуть ігноровані, вони не будуть записані в ОЗУ USB і прапор переривання після завершення передачі не буде встановлений. Тим не менш, ядро SIE передасть хосту токен ACK як квитанцію підтвердження прийому. Цей режим застосовується при передачі несинхронних поточкових даних від хоста до приймача, таких як звук на USB-колонки, коли

неможливо перервати або повторити передачу синхронізації, але необхідно ігнорувати збійні дані.

Розряд BSTALL (BDnSTAT<2>) забезпечує підтримку керуючих передач, зазвичай одноразові зупинки нульової кінцевої точки. Крім того, він забезпечує підтримку для команд SET\_FEATURE/CLEAR\_FEATURE, описаних у розділі 9 специфікації USB. Зазвичай це безперервний стан STALL для будь-якої кінцевої точки, інший, ніж керуюча кінцева точка за умовчанням.

Розряд BSTALL дозволяє зупинки буфера. Установка біта змушує SIE відповісти хосту токеном STALL, якщо отриманий від хоста токен намагався використовувати саме дескриптор буфера. Як тільки передано токен STALL, генерується переривання типу STALL і встановлюється біт EPSTALL відповідного керуючого регістру UEPn. Біт UOWN залишається встановленим, і дескриптори буфера не змінюються, доки не буде прийнято токен SETUP. У цьому випадку стан STALL скасовується і право доступу до дескриптора буфера передається мікроконтролеру.

### **Реєстр BDnSTAT у режимі SIE (приналежність модулю USB)**

Коли дескриптор буфера та відповідний буфер переходять у власність ядра SIE, більшість розрядів регістру BD STAT набуває іншого значення:

bit7 UOWN біт приладдя 1 = SIE володіє дескриптором та відповідним буфером;

bit6 Зарезервований, недоступний для запису через SIE;

bit5-2 PID3:PID0 біти ідентифікатора пакета PID отриманого токена останнього обміну (тільки для транзакцій типу IN, OUT або SETUP);

bit1-0 BC9:BC8 біти 9 та 8 лічильника байтів Ці біти оновлюються через SIE, відображаючи поточну кількість байтів, прийнятих за командою хоста OUT, або переданих по команді хоста IN.

### **Лічильник байтів дескриптора**

Сума байтів є загальною кількістю байтів, які будуть передані хосту у відповідь на команду IN. Після передачі типу IN ядро SIE повертає кількість байтів, переданих хосту. У разі передачі типу OUT сума байтів є максимальною кількістю байтів, яка може бути прийнята і збережена в ОЗУ USB. Після передачі типу OUT

ядро SIE повертає реальну кількість прийнятих байтів. Якщо ця кількість перевищує відповідну суму байтів, прийнятий пакет даних відкидається і у відповідь генерується квитанція типу NAK. Якщо це сталося, то лічильник байтів не оновлюється.

### **Перевірка валідності адреси дескриптора буфера**

Регістрова пара адреси буфера дескриптора містить початкову адресу ОЗУ для буфера відповідної кінцевої точки. Щоб початкова адреса кінцевої точки був валідним, він повинен знаходитися в діапазоні ОЗП USB, 400h...7FFh. Апаратного механізму для перевірки валідності адреси дескриптора немає.

Якщо значення адреси дескриптора буфера не вказує на комірку ОЗУ USB, або вказує на комірку, зайняту буфером іншої кінцевої точки, дані будуть втрачені або переписані. Тому при розробці пристрою користувач повинен сам подбати про програмну перевірку валідності адрес у своєму коді.

### **Вбудований трансівер**

Модуль USB має вбудований трансівер, що відповідає стандарту USB 2.0 і сумісний із низькошвидкісною шиною. Цей трансівер підключено до ядра SIE по внутрішніх лініях. Наявність вбудованого трансівера дозволяє розробляти недорогі пристрої. Біт UTRDIS (UCFG<3>) управляє трансівером. За замовчуванням (UTRDIS=0) вбудований трансівер увімкнено. Біт FSEN (UCFG<2>) керує швидкістю передачі.

Коли цей біт встановлено, пристрій працює у повній швидкості. Підключення вбудованих резисторів навантаження визначається установкою біта UPUEN (UCFG<4>). Вбудовані резистори можуть бути підключені, тільки якщо

увімкнений вбудований трансівер. Специфікація USB потребує живлення пристрою від джерела 3,3В. Оскільки вся інша схема може працювати при вищій напрузі, трансівер живиться від окремого джерела VUSB.

### **Вбудований регулятор напруги**

Мікроконтролери PIC18F4520/4550 оснащені вбудованим регулятором напруги для живлення вбудованого трансівера та підключення внутрішніх або зовнішніх підтягуючих резисторів. Для більшої стабільності вихідної напруги потрібний зовнішній конденсатор ємністю 220 нФ. Крім вбудованого трансівера,

струму від джерела VUSB достатньо для живлення зовнішніх навантажувальних резисторів, і не більше того.

Регулятор увімкнено за замовчуванням і може бути вимкнений за допомогою біта конфігурації VREGEN. Коли регулятор увімкнено, напруга подається на вивід V<sub>usb</sub>. Якщо ж регулятор вимкнено, то на цей висновок необхідно подати зовнішню напругу 3,3 В для живлення вбудованого трансівера. Зрозуміло, якщо вбудований трансівер не використовується, то напруга на виводі VUSB не потрібна. Не вмикайте вбудований регулятор, якщо на виведення V<sub>usb</sub> подана зовнішня напруга. Напруга VDD завжди має бути більшою, ніж V<sub>usb</sub>, навіть якщо регулятор вимкнено.

### **Режими живлення USB**

Пристрої USB можуть мати різні варіанти живлення та конфігурації. Найчастіше застосовуваними режимами харчування є:

- живлення лише від шини USB;
- власне джерело живлення пристрою;
- змішане харчування із пріоритетом власного джерела.

### **3.3 Алгоритм роботи центрального контролера системи ДК**

Робота програмного забезпечення центрального контролера починається з ініціалізації всіх пристроїв, які управляються PIC-контролером, тобто відновлення їх початкового стану.

Після ініціалізації перевіряється наявність зв'язку з АРМом. Штатним режимом зв'язку центрального контролера з ПК АРМ, що становить, є зв'язок по USB-порту. Тому перевірка нормального функціонування цього режиму проводиться в першу чергу. Якщо при спробі встановлення зв'язку з ПК по USB-порту виявлені збої або помилки, ЦК перевіряє працездатність резервного режиму зв'язку – зв'язок по послідовному USB-порту. За наявності помилок або повній відсутності зв'язку в цьому режимі, ЦК видає на РКІ повідомлення про те, що зв'язок з ПК відсутній і починає опит лінійних контролерів в автономному режимі, тобто без обміну інформацією з АРМом.

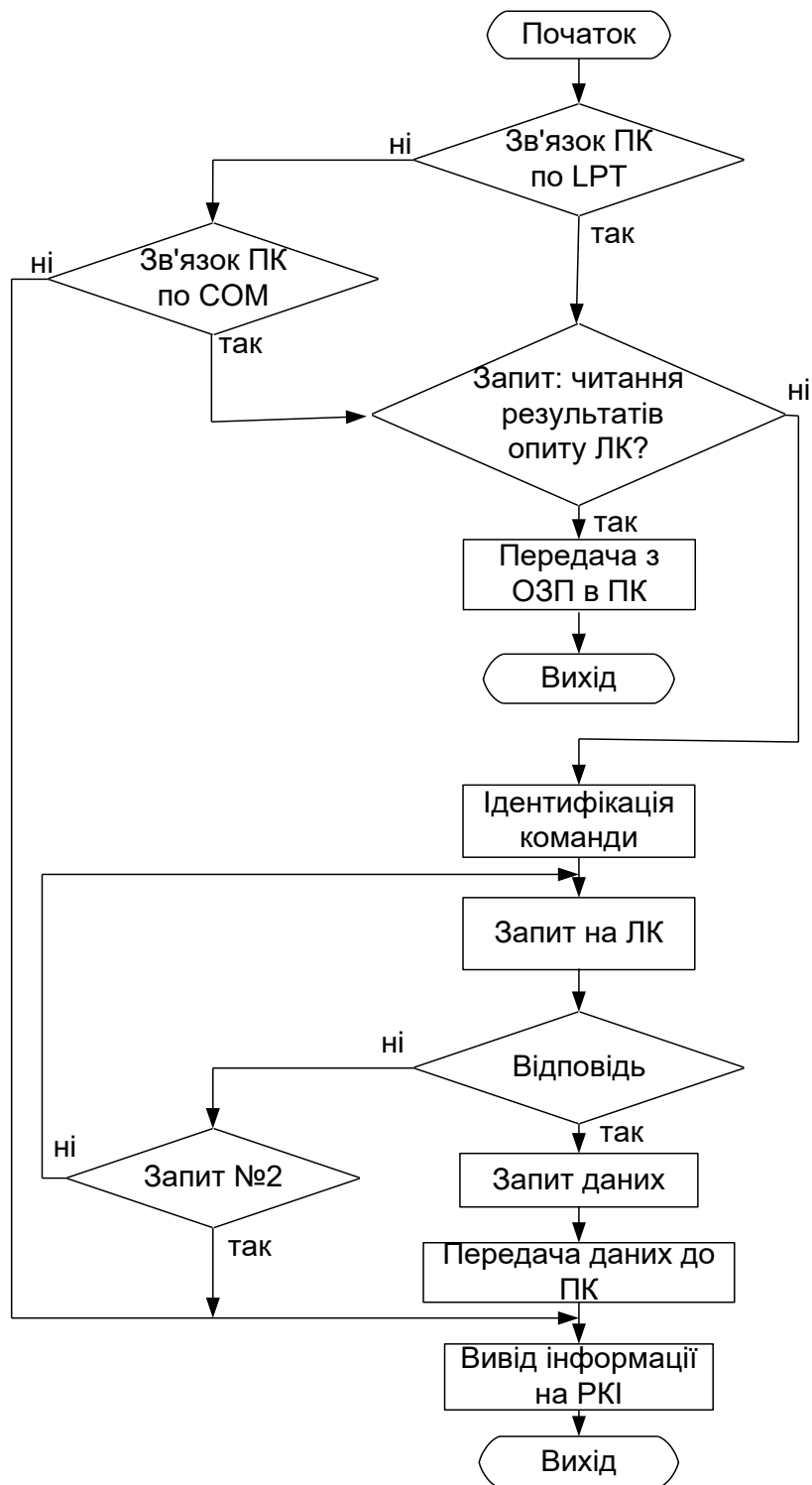


Рис. 3.6. Алгоритм обміну даними з АРМом

Процес обміну даними з АРМом починається з перевірки зв'язку, механізм якого описаний вище (рис. 3.6). Ініціатором обміну інформацією є ПК. Він чекає, коли мікроконтролер звільниться, опитуючи стан біта ERROR USB-порту. Якщо PIC-контролер вільний, ПК може запитати дані у центрального контролера.

Останній визначає тип запиту:

- читання з ОЗУ результатів опиту ЛК;

- запит інформації про стан певного лінійного пункту, включаючи можливість вимірювання напруги на релейному і живлячому кінцях блок-дільниці.

У першому випадку ПК звертається до пам'яті даних (ОЗП) мікроконтролера за програмно заданими адресами і прочитує інформацію.

У другому випадку ЦК визначає номер ЛК, про яке електромеханік або диспетчер хочуть отримати інформацію, або провести вимірювання. Посилається запит ЛК і за наявності зв'язку з ним отримані з лінійного пункту дані передаються в ПК і виводяться на РК індикатор. Після цього ЦК повертається до циклічного опиту всіх ЛК.

Наступний алгоритм детально відображає процес обміну інформацією між ПК

і

Р      Перевірка зв'язку:

І      1.      ПК передає в ЦК код 01Н;

С      2.      ЦК відповідає послідовністю байт: 55Н, ААН, 0FH;

-      3.      Відсутність відповіді або прийом інших байт - помилка зв'язку.

к      Читання інформації з комірки ОЗУ РІС-контролера:

о      1.      ПК передає в ЦК код:

н      -      05Н для читання 2-3 банків.

т      2.      ЦК передає ПК код 0FH;

р      3.      ПК передає в ЦК адресу осередку ОЗУ;

о      4.      ЦК передає ПК вміст осередку ОЗУ.

л      Запис інформації в комірку ОЗУ РІС -контролера:

е      1.      ПК передає ЦК код:

р      -      02Н для запису в 0-1 банки;

о      -      03Н для запису в 2-3 банки.

м      -      04Н для читання 0-1 банків;

2.      ЦК передає в ПК код 0FH;

3.      ПК передає в ЦК адресу осередку ОЗУ;

4.      ЦК передає в ПК код 0FH;

5. ПК передає в ЦК дані для запису в осередок ОЗУ;
6. ЦК передає в ПК код 0FH.

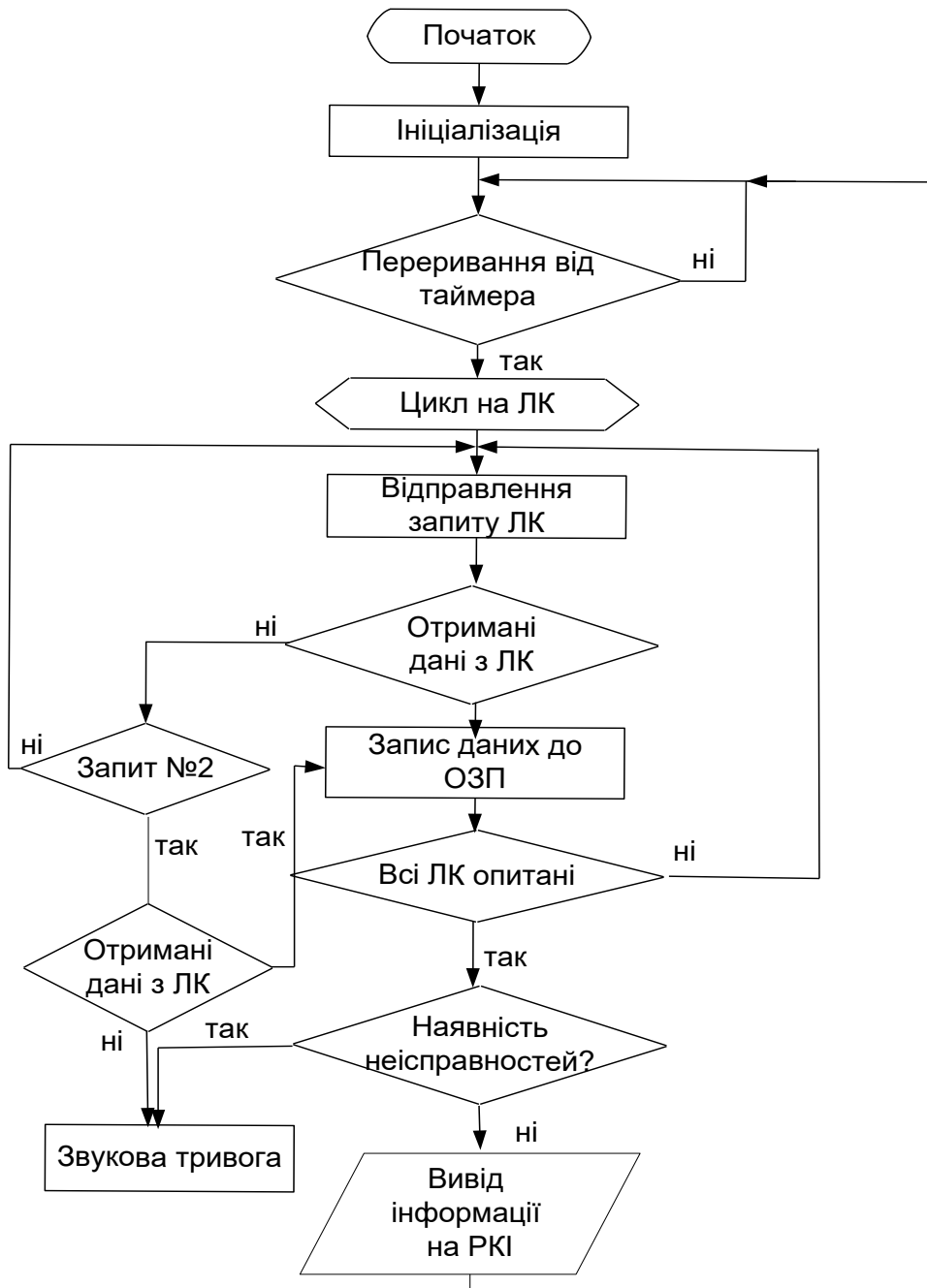


Рис. 3.7. Алгоритм опиту лінійних контролерів

Циклічний опит ЛК проводиться за допомогою переривання від таймера РІС-контролера. Часовий інтервал -  $Ft$ , через який відбувається переривання, встановлюється програмно, і легко може бути змінений залежно від кількості ЛК на контрольованому перегоні. У перебігу заданого інтервалу часу організовується цикл

на опит необхідної кількості ЛК. Число ЛК описується в програмі при настройці системи для роботи на конкретному перегоні.

Частина програми, що працює в циклі, відповідає за опит стану лінійних пунктів. Циклічний опит лінійних контролерів починається з посилки запиту даних на ЛК1. Якщо в заданому інтервалі часу не були отримані коректні дані з ЛК, посилається другий запит. За відсутності відповіді і на другий запит, ЦК виводить на індикатор і передає в АРМ повідомлення про відсутність зв'язку з ЛК, після чого продовжує опит решти ЛК.

При відповіді ЛК, отримані дані записуються в ОЗУ РС-контролера, звідки вони будуть лічені ПК в кінці циклу опиту. Записані дані аналізуються на наявність несправності. Якщо в результаті аналізу даних виявлені несправності лінійного пункту, включається звуковий сигнал тривоги, а потім інформація про несправність виводиться на РКІ. Таким чином відбувається опит всіх ЛК. Інформація про стан всіх лінійних пунктів зберігається в ОЗУ мікроконтролера. Цикл опиту завершується, і по перериванню від таймера опит починається з початку.

Програмне забезпечення АРМа дозволяє диспетчерові або електромеханікові в реальному масштабі часу контролювати роботу перегінних пристроїв, а також проводити вимірювання для виявлення передвідмовного стану. Інтерфейс основного вікна програми надає можливість працівникові дізнатися в якому стані знаходиться сигнальна установка в даний момент часу. Для докладного вивчення і аналізу всіх подій ведеться протокол подій. Для того, щоб його проглянути, досить натиснути на кнопку «Докладніше». Для проведення вимірювань на будь-якому лінійному пункті або уточнення отриманої інформації є можливість переходу в ручний режим.

Тестовий режим призначений для ручної перевірки і налаштування зв'язку з центральним контролером по USB-порту.

## ВИСНОВКИ

При виконанні даної магістерської роботи був зроблений детальний аналіз існуючих діагностичних систем. В результаті обзору діючих систем діагностики рейкових кіл можна зробити висновки, що локальна діагностична система LDS і кодове автоматичне блокування КЭБ-2 не є сумісними з діючими системами автоблокування в Україні, тобто функціонування даних систем реально тільки при їх повному впровадженні замість старої, що несе за собою великі капіталовкладення. СТДМ-ПУ призначена для оперативного відображення своєчасних і достовірних відомостей про поточний стан об'єктів сигналізації, централізації й блокування лінійних пунктів і перегонів, ділянок залізниці на робочому місці диспетчера. Мікропроцесорна уніфікована система автоблокування АБ-УЕ призначена для контролю стану рейкових ліній і передачі інформації між сигнальними точками; керування вогнями світлофорів за умовами безпеки руху; формування сигналів систем автоматичної локомотивної сигналізації типу АЛС-ЕН й АЛСН числового коду; передачі на станцію даних про поїзне положення на перегоні й діагностики апаратури сигнальних точок автоблокування.

У другому розділі виділені основні вимоги до рейкових кіл. Розроблена математична модель розрахунку РК 50 Гц і вибрані точки, які найбільш підходять для проведення вимірювання значень струму та напруги. Розроблений автоматизований метод діагностики РК 50 Гц, представлені розрахунки параметрів чотирьохполюсника і вторинних параметрів рейкової лінії, розрахунок нормального, шунтового, контрольного, режиму короткого замикання і АЛС режимів роботи РК, приведений алгоритм даного методу. Крім цього в даному розділі приведена експериментальна перевірка розробленого методу. В результаті якої було виявлено, що відхилення від нормативних параметрів, в загальному випадку, складає в середньому 3%, що дозволяє використовувати розроблений метод для автоматизованої діагностики РК 50 Гц.

У третій частині магістерської роботи була розроблена структура автоматизованої діагностичної системи РК 50 Гц. В цьому ж розділі спроектована

принципова схема лінійного контролера. Лінійний пункт виконаний на базі ПІС мікроконтролера PIC16F873A з вбудованим АЦП. Його завданням є збір первинної інформації про технічний стан рейкових кіл, первинна обробка цієї інформації і передача її по запиту до центрального контролера.

Впровадження даної автоматизованої діагностичної системи РК 50 Гц дозволить дистанційно проводити детальний аналіз роботи РК, оперативно вести нагляд за роботою РК, своєчасно проводити профілактику і передбачати можливі відмови в нормальній роботі РК. Можливість збереження результатів діагностики в базу даних дозволить відстежувати вплив погодних факторів на зміну контролюємих параметрів РК.

Розроблений метод і зроблена на його основі система автоматизованої діагностики кодового РК 50 Гц є працездатними і пригідними для використання на залізничному транспорті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв СЦБ.ЦШЕОТ 0012. [Текст]. - К., 1998. – 72 с.
2. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ 0042. [Текст]. – К., 2006. – 461 с.
3. Аркатов, В.С. Рейкові кола магістральних залізниць [Текст] / В.С. Аркатов, Н.Ф. Котляренко, А.И. Баженов А.И. Посібник. - М.: Транспорт, 1982.- 360 с.
4. Брилеєв, А.М. Теорія, будова та робота рейкових кіл [Текст] / А.М. Брилеєв, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. - М.: Транспорт, 1978.- 344 с.
5. Аркатов, В.С. Рейкові кола. Аналіз та технічне обслуговування [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А Кравцов, Б.М Степенський - М.: Транспорт, 1990.- 295 с.
6. Леушин, В.Б. Особливості структур рейкових кіл автоблокування [Текст]: навчальний посібник / В.Б Леушин - Самара: СамИИТ, 1999.- 96 с.
7. Дмитриєв, В.С., Мінін В.А. Нові системи автоблокування [Текст] / В.С. Дмитриєв. - М.: Транспорт. 1981.- 247 с.
8. Лисенков В.М. Теорія автоматичних систем інтервального регулювання [Текст] / В.М. Лисенко. - М.: Транспорт. 1987.- 150 с.
9. Шишляков, А.В. Експлуатаційна надійність пристроїв автоблокування та АЛС [Текст] / А.В Шишляков, Ю.А Кравцов, А.Ф Михайлов. - М.: Транспорт. 1969.- 96 с.
10. Углик, А. Способи вирішення рейкових кіл для ділянок зі зниженим опором баласту [Текст] / А. Углик, Б. Надворник // - Бюллетень ОСЖД. Варшава. 1982. - №3. - С. 9 - 12.
11. Нейман, Л.Р. Теоретичні основи електротехніки [Текст] / Л.Р Нейман, К.С Демирчян. 3-го видання. - Л.: Енерговидання. 1981. Т.1. 533 с. Т2. 415 с.
12. Теорія основи електротехніки [Текст] / Під ред. проф. Іонкіна П.А - М: Вища школа. 1976. Т1. 559 с. Т2. 383 с.
13. Каганов, З.Г. Електричні кола з розподіленими параметрами та ланцюгові схеми [Текст] / З.Г Каганов, З.Г. - М: Енерговидання. 1990. - 248 с.

14. Александрова М.Г. та інші. Розрахунок електричних кіл та електромагнітних полів на ЕВМ [Текст] / Під ред. Данилова П.В. та Філіпова Е.С. - М.: Радіо та зв'язок. 1983. - 344 с.

15. Технічна документація DS00713а компанії Microchip Technology Incorporated, USA. [Електрон. ресурс] / – Режим доступу: <http://www.microchip.com>.

16. Тарасов, Е.Н. Математичне моделювання рейкових кіл із розподіленими параметрами рейкових ліній [Текст] / Е.Н, Тарасов. - Самара: СамГАПС, 2003. - 118 с.

17. Котляренко, Н.Ф. Колійне блокування та авторегулювання [Текст]: Підручник для вузів / Н.Ф Котляренко. -М: Транспорт, 1983. - 408 с.

18. Новиков, М.А. Проектування автоматичного блокування на залізницях [Текст] / М.А Новиков, А.Ф Петров, Н.М Степанов – М.: Транспорт, 1979. - 328 с.

19. Казаков, А.А., Казаков Е.А. Автоблокування, локомотивна сигналізація і автостопа [Текст] / А.А Казаков, Е.А Казаков - М.: Транспорт, 1980. – 360с.

20. Яценко В.С. Мікроконтролери Microchip з апаратною підтримкою USB? 2008. – 400 с.

21. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Основи технічної діагностики: Навчальний посібник для студентів вузів залізничного транспорту. М.: Маршрут, 2004 – 318 с.