

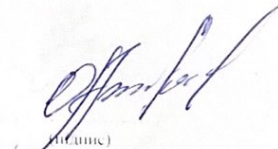
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
Факультет транспорту і будівництва  
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до дипломної кваліфікаційної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 27 – «Транспорт»  
спеціальності 273 Залізничний транспорт/ Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті

на тему: «Удосконалення пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки на основі методів діагностування»

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІБЗГ-22дм  
Мірошникова О.О.



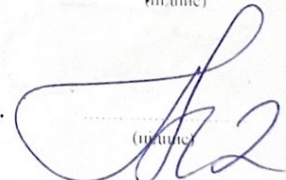
(підпис)

Керівник: доц. Семенов С.О.



(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.



(підпис)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ТА ПРОБЛЕМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ	
1. ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ ЛАНЦЮГІВ.....	6
1.1. Особливості ТРЛ і проблеми їх обслуговування .....	6
1.2. Засоби вимірювання сигналів тональних рейкових ланцюгів систем технічної діагностики.....	20
1.3. Вплив форми сигналу на результат вимірювань.....	24
ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛУ ВИМІРЮВАНЬ ПО ЗАДАНИЙ	
2. ВЕЛИЧИНІ ПОХИБКИ ДЛЯ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СИГНАЛУ.....	28
2.1. Вплив форми сигналів тональних рейкових ланцюгів на вимірювання.....	30
2.2. Вплив дискретизації на результат вимірювань .....	36
2.3. Визначення значень допускових параметрів.....	41
2.4. Двопараметрична модель .....	44
ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ДІАГНОСТИКА ТОНАЛЬНИХ	
3. РЕЙКОВИХ ЛАНЦЮГІВ.....	56
3.1. Дослідження засобів вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів.....	56
3.2. Оцінка впливу форми сигналу на вимірювання значень .....	60
3.3. Автоматизація діагностування та вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів.....	61
3.4. Модернізація пристрою вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів.....	66
3.5. Принцип дії і алгоритм роботи УНС-4ІА.....	68
ЗАКЛЮЧЕННЯ .....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	76

## ВСТУП

Висока ефективність роботи залізничного транспорту залежить від правильної і надійної роботи систем забезпечення безпеки руху - систем залізничної автоматики і телемеханіки (ЗАТ). Основу систем залізничної автоматики складають елементи контролю стану ділянки шляху - різні види електричних рейкових ланцюгів (РЛ). Рейкове коло - шляховий датчик, що спрацьовує під впливом коліс рухомого складу, забезпечуючи зв'язок між ним і пристроями управління - стрілками і сигналами. Правильність функціонування рейкових ланцюгів і своєчасне виявлення, усунення відмов в них суттєво впливають на роботу систем залізничної автоматики і телемеханіки, а значить і на ефективність всього залізничного транспорту в цілому.

Безпека ТРЛ забезпечується математичними розрахунками і періодичним контролем виміряних в експлуатації значень напруг і струмів на відповідність розрахунковим. Розрахунки струмів і напруг в ТРЛ виконуються для безперервних сигналів синусоїдальної форми, а для отримання значень при модульованих струмах і напружених використовується коефіцієнт перерахунку, який отриманий з припущення, що сигнали ТРЛ мають форму маніпульованої синусоїди. Відмінність значень вимірів реальних сигналів ТРЛ від значень вимірів маніпульованої синусоїди до 7%.

**Актуальність теми дослідження.** Вимірювання сигналів ТРЛ для періодичного контролю відповідності розрахункових значень, повинні виконуватися спеціалізованими приладами, що обумовлено складною формою сигналів ТРЛ. Розбіжності в показаннях приладів, призначених для вимірювань сигналів ТРЛ, складають 10-40% в залежності від точки підключення в рейковий ланцюг.

Вищевказані допущення при розрахунках, низька порівнянність результатів вимірювань, а також складна технологія обслуговування і високі вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу призводять до великої кількості відмов і можуть викликати порушення умов безпеки руху. На системи

автоблокування з ТРЛ в 2021 році довелося 1840 відмов, що становить 17,3% від усіх відмов систем автоблокування. Основними причинами відмов АБ з ТРЛ, складовими близько 60%, є неякісне виконання робіт та експлуатаційні порушення, тобто порушення, пов'язані з впливом людського фактора в процесі експлуатації пристроїв.

Суттєво зменшити вплив людського фактора на процес технічного обслуговування дозволяють системи технічної діагностики і моніторингу (СТДМ), основним завданням яких є централізований збір даних про відмови та виявлення передбачуваних станів. Темпи впровадження СТДМ вкрай низькі. Причиною є висока вартість будівництва і обслуговування СТДМ.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки на основі методів діагностування, розробка методів і засобів, що дозволяють підвищити достовірність автоматизованих вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів (ТРЛ).

**Завдання дослідження:**

- Виконати аналіз основних напрямків і проблем удосконалення тональних рейкових ланцюгів;
- Розробити математичну модель сигналів ТРЛ;
- Розробити рекомендації щодо забезпечення порівняння результатів вимірювань сигналів ТРЛ;
- Розробити метод визначення можливості застосування існуючих засобів для вимірювань сигналів ТРЛ.

**Об'єкт дослідження** - Тональні рейкові ланцюги.

**Предмет дослідження** – Методи вимірювань, діагностики і технології обслуговування ТРЛ.

**Методи дослідження** – математичний аналіз, чисельні методи розрахунку і аналізу, математичний апарат теорії передачі сигналів, комп'ютерне моделювання, експериментальні дослідження.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

- запропоновано для сигналів ТРЛ використовувати математичний опис однотонального амплітудно-модульованого сигналу;
- вперше розроблено метод розрахунку інтервалу вимірювання сигналів ТРЛ по заданій величині похибки;
- вперше розроблено метод експериментального дослідження приладів та оцінки їх застосовності для вимірювань сигналів ТРЛ.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

- запропонована модель сигналів ТРЛ дозволяє визначити вплив форми сигналу на величину похибки вимірювань;
- встановлено, що мінімальним значенням інтервалу вимірювання, при якому форма сигналу ТРЛ не впливає на показання приладу, є 0,25 с;
- метод розрахунку інтервалу вимірювання дозволяє забезпечити точність і швидкодію, гарантувати порівнянність показників існуючих засобів вимірювання сигналів ТРЛ;
- запропонований метод дослідження вимірювальних засобів дозволяє оцінити придатність існуючих приладів для вимірювань сигналів ТРЛ.

**Публікації.** Відповідно до теми дипломної роботи опубліковані наукові публікації у фахових виданнях України, результати роботи представлені на науковій студентській конференції.

**Структура і об'єм роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 3 розділів, заключення, списку використаних джерел з 92 найменувань на 9 сторінках. Загальний об'єм кваліфікаційної роботи магістра складає 84 стор. Робота включає 16 рисунків та 7 таблиць по тексту.

# 1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ТА ПРОБЛЕМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ ЛАНЦЮГІВ

## 1.1. Особливості ТРЛ і проблеми їх обслуговування

Рейковий ланцюг є датчиком вільності ділянки колії і контролю цілісності рейкової лінії. У працездатному стані рейковий ланцюг повиний гарантовано виконувати всі режими роботи.

Працездатність рейкового кола характеризується діапазоном зміни параметрів елементів рейкового кола і питомої опору ізоляції рейкової лінії [1], забезпечується математичними розрахунками і періодичним контролем параметрів за результатами вимірювань. Розрахунки проводяться для найгірших умов виконання кожного з режимів роботи.

Умови виконання режимів суперечливі, а працездатність визначається діапазоном зміни параметрів елементів рейкового кола і питомим опором рейкової лінії. Можливий діапазон змін параметрів враховується за допомогою запасів прийнятих при розрахунках. Якщо величина запасів перевищує діапазон зміни умов функціонування рейкових ланцюгів, то всі режими повинні виконуватися. В іншому випадку можливе неправильне визначення стану ділянки шляху, що може привести до порушення безпеки руху. Точність вимірювань при контролі відповідності фактичних параметрів розрахунковим, також повинна компенсуватися прийнятими в розрахунках запасами.

Якщо закладені запаси перевищують можливий діапазон зміни параметрів і точність вимірювань, то це додатково знижує працездатність рейкового кола.

Невід'ємним елементом рейкових ланцюгів є рейкова лінія, електричні параметри якої можуть змінюватися в широких межах залежно від пори року, погодних умов і стану верхньої будови колії. Крім того, по рейкової лінії здійснюється каналізація тягового струму і передача сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), на рейкову лінію впливають інші джерела і лінії передачі електричної енергії. Тому працездатність рейкових ланцюгів

обмежується станом рейкової лінії (опором ізоляції і рівнем впливають на сигнали рейкового кола перешкод).

ТРЛ мають високу завадостійкістю серед існуючих рейкових кіл за рахунок зниження рівня перешкод в діапазоні частот понад 400 Гц, а також за рахунок застосування амплітудно-модульованих сигналів.

Захист ТРЛ від гармонійних складових тягового струму здійснюється електричними фільтрами, а захист від імпульсних перешкод забезпечується величиною порога спрацьовування приймачів. Детально питання впливу перешкод на ТРЛ розглядаються в [2-8].

Працездатність ТРЛ може забезпечуватися на ділянках з опором ізоляції до 0,04 Ом-км при довжинах рейкового кола 150 - 310 м. Мінімальна довжина ТРЛ становить 100 м, максимальна довжина - 1000 м.

Особливість ТРЛ полягає в тому, що розрахунки виконуються для безперервних сигналів. Для отримання середньквдратических значень струмів і напруг при маніпулювати сигналі результати розрахунків діляться на коефіцієнти перерахунку, або вихідні значення безперервних струмів і напруг перед виконанням розрахунків діляться на коефіцієнт.

Напруга в шунтовому і контрольному ВКК режимах на вході приймача повинен знижуватися неменш ніж, на велічінуприведенногокоефіцієнта повернення Квн.

Приведений коефіцієнт повернення включає в себе коефіцієнт повернення приймача Кв, коефіцієнт запасу КЗ і нестабільність джерела живлення Кп:

Коефіцієнт повернення приймача компенсує вплив чинників, що перешкоджають надійному виключення приймача в контрольному і шунтового режимах. Коефіцієнт запасу компенсує вплив факторів перешкоджають надійному включенню приймача в нормальному режимі.

При розрахунках ТРЛ приймається  $K_p = 1,2$ ,  $K_3 = 1,15$ ,  $K_v = 0,8$ . Приведений коефіцієнт повернення при цьому дорівнює 0,58.

Детально правила розрахунків ТРЛ розглядається в [1, 9-11].

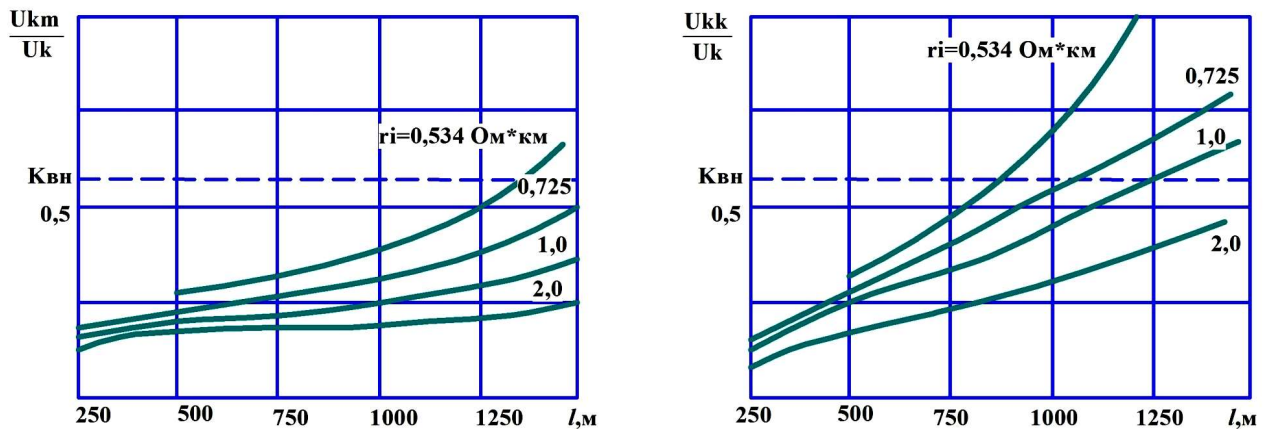


Рис. 1.1 - Характеристики рейкового кола в шунтовому і контрольному режимах

Щорічно на мережі залізниць впроваджується 1,5-3 тис. Рейкових ланцюгів тональної частоти [12, 13].

На 1 січня 2012 року 62 295 км мережі залізниць обладнано пристроями автоблокування, з них близько 10 тис. Км обладнано системами на базі ТРЛ: 1649,4 км обладнано системою АБТ, 6998,1 км - системою АБТЦ, 1646,3 км - системами мікропроцесорної автоблокування на базі ТРЛ, що становить близько 16,5% від усіх пристроїв автоблокування.

За даними [14] на системи автоблокування з ТРЛ в 2011 році довелося 1840 відмов, що становить 17,3% від усіх відмов систем автоблокування. Основними причинами відмов автоблокування з ТРЛ, складовими близько 60%, є неякісне виконання робіт та експлуатаційні порушення, тобто порушення пов'язані з впливом людського фактора.

Суттєво зменшити вплив людського фактора на процес технічного обслуговування дозволяють системи технічної діагностики і моніторингу (СТДМ), основним завданням яких є централізований збір даних про відмови та виявлення предотказних станів.

Під предотказним станом розуміється такий стан, коли хоча б один з параметрів об'єкта, що характеризують здатність виконувати задані функції, досягає граничного значення, визначеного нормативно-технічної та (або)



конструкторської документації, при якому не може бути гарантована працездатність при подальшій зміні параметра [15].

Безвідмовний стан визначається при перевищенні порогового значення параметра на основі вимірів. Граничні значення встановлюються всередині області працездатності ТРЛ, знижуючи її ширину. Що для рейкового кола означає зменшення можливостей.

Незалежно від методу технічного обслуговування контроль стану ТРЛ виконується на підставі вимірів. На сьогоднішній день при вимірах параметрів є проблеми, не вирішено питання про єдині принципи і вимірювальних приладах на етапах розробки, експлуатації і ремонту ТРЛ, що підтверджується в роботах багатьох авторів [11, 16-23]. Відомі випадки, коли ТРЛ відрегульовані за затвердженими нормалям і відповідають усім експлуатаційним вимогам працюють нестабільно [24].

Для зміни ситуації, що склалася необхідно вивчити принципи роботи апаратури, існуючу технологію обслуговування, методи вимірювань і проаналізувати шляхи подальшого розвитку ТРЛ. Найбільше поширення на території нашої країни має апаратура ТРЛЗ і ТРЛ4 [11, 25-27]. Принцип дії тональних рейкових кіл заснований на використанні амплітудно-модульованого сигналу. В якості несучої використовуються частоти 420, 480, 580, 720 і 780 Гц (ТРЛЗ), а також 4,5, 5 та 5,5 кГц (ТРЛ4). Як модулюючих використовуються частоти 8 і 12 Гц.

Апаратура ТРЛ складається з колійного генератора, колійного фільтра і колійного приймача. Сигнал формується генератором і через шляховий фільтр надходять в рейкову лінію. Визначення стану рейкової лінії виконує шляховий приймач.

Напруга на виході колійного генератора ГПЗ регулюється в межах від 1 В до 6 В. При налаштуванні фільтру в резонанс на частоті струму в рейкового кола напруга на виході колійного фільтра має бути більше, ніж напруга на виході генератора в 4 ... 10 разів. Чутливість приймачів по напрузі АМ сигналу становить від 0,32 до 0,38 В в нормальних кліматичних умовах і від 0,3 В до 0,5

В при граничних значеннях робочих температур навколишнього середовища для ТРЛЗ і від 0,11 до 0,13 В в нормальних кліматичних умовах для ТРЛ4, коефіцієнт повернення дорівнює 0,8, вхідний опір сигналу середньої частоти смуги пропускання вхідного фільтра становить від 120 до 160 Ом.

Максимальне значення робочої напруги на вході колійного приймача становить 1,5 В. У шунтового режимі роботи залишкову напругу на вході колійного приймача для ТРЛЗ не повинно перевищувати 0,23 В, а для ТРЛ4 - 0,075 В.

Таким чином, сигнали ТРЛ мають різну форму, залежно від точки підключення до рейкового кола, і широкий діапазон зміни значень від 0.075 В до 60 В, що висуває певні вимоги до засобів вимірювань.

Початок розробки систем на базі ТРЛ доводиться на сімдесяті роки минулого століття. В даний час, широка доступність мікропроцесорної техніки і методів цифрової обробки сигналів зумовила можливості щодо вдосконалення ТРЛ.

Розроблено апаратура ТРЛ з цифровою обробкою сигналів - приймачі ППЗС, генератори ГПЗС і їх модифікації [28-32]. Відмінними рисами є: наявність вбудованої системи внутрішньої діагностики, більш низька чутливість порівняно з ТРЛЗ і ТРЛ4 по напрузі АМ сигналу на вході 0,37 ... 0,45 В і 0,14 ... 0,17 В, можливість підключення апаратури по схемою 100% резервування. Приймачі ППЗС, ПП4С і генератор ГПЗС прийняті в постійну експлуатацію на мережі доріг ВАТ «УЗ».

Приймачі та генератори ППЗС-Е і ГПЗС-Е входять до складу цифрового модуля контролю рейкових ланцюгів ЦМ КРЛ, призначеного для контролю і кодування рейкових ділянок з прийомом і передачею інформації в керуючі системи [32].

Апаратура рейкового кола з авторегулюванням ТРЛ-АР складається з генератора мікропроцесорного колійного ГМП і приймача ПМП [33, 34]. Відмінності ТРЛ-АР від рейкових ланцюгів ТРЛЗ полягають в наступному.

Застосування стабілізації живлення приймачів і генераторів дозволяє

знизити коефіцієнт нестабільності напруги до значення  $K_p = 1,05$ . За рахунок високої стабільності параметрів елементної бази ГМП і ПМП коефіцієнт запасу був знижений до значення  $K_3 = 1,05$ . Таким чином, розрахунковий коефіцієнт повернення для ТРЛ-АР склав  $\text{вп} = 0,72$ , в зв'язку з чим забезпечується більша працездатність при рівних довжинах рейкових ланцюгів ТРЛЗ і ТРЛ-АР. Досягнуте значення розрахункового коефіцієнта повернення дозволяє підвищити довжину станційної рейкового кола ТРЛ-АР з 800 м до 1200 м, що відповідає середній довжині приймально шляху. В результаті чого зменшується потреба в апаратурі і кабелі.

Реалізовано авторегулювання рівня сигналу в рейкового кола, за рахунок автоматичного контролю максимально допустимого напруги на вході приймача, через зворотний зв'язок між генератором і приймачем.

Апаратура ТРЛ-АР має вбудовані засоби самодіагностики. Підвищено стійкість за рахунок контролю спектрального складу сигналу на вході приймача.

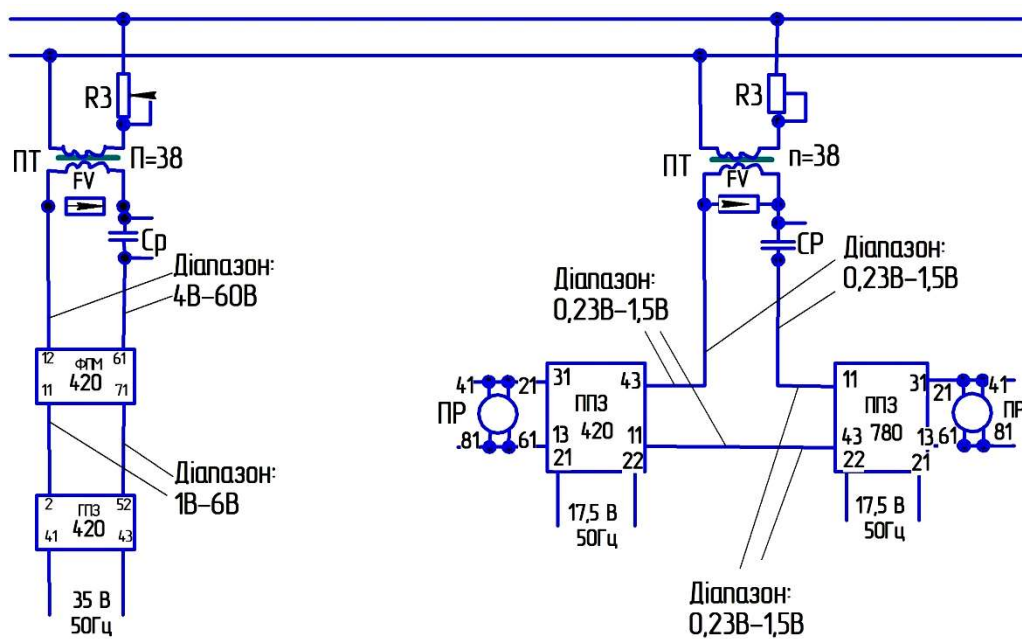


Рис.1.2. Форма і діапазони вимірювання сигналів ТРЛЗ в різних точках рейкового ланцюга

Генератор ГМП і приймач ПМП (ТРЛ-АР) введені в дослідну експлуатацію.

В постійній експлуатації знаходяться генератор ГТРЛ і приймач ПТРЛ. Їх особливістю є розширена функціональність - можливість прийому і формування сигналів АЛС або АЛСЕН спільно з амплітудно маніпулювати сигналами ТРЛ. Крім того вхідний опір ПТРЛ становить менше 2 Ом і його чутливість нормується по току.

Найбільші відмінності від апаратури ТРЛЗ має апаратура рейкових кіл блоку БКРЦ системи АБТЦ-М [35]. БКРЦ забезпечує формування та приймання сигналів рейкових кіл з несучої на одній з десяти робочих частот 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875 і 925 Гц. Для підвищення перешкодозахищеності застосовується частотна модуляція. Чутливість блоку становить  $26 \pm 3$  мВ. Блок так само формує сигнали АЛС і АЛСЕН, має вбудовану функцію самодіагностики.

На основі частотної маніпуляції працюють рейкові кола Т121 [93], ЕВ1Тгаск [94]. Застосовуються сигнальні частоти в діапазоні від 1549 Гц до 2593 Гц.

Основними шляхами розвитку ТРЛ є: підвищення завадостійкості та надійності, вдосконалення принципів обслуговування та регулювання, самодіагностика апаратури, розширення функціональності. Для цього застосовується сучасна мікроелектронна елементна база, прецизійні компоненти і цифрова обробка сигналів.

Скорочення запасів, прийнятих в розрахунках ТРЛ, без зменшення допустимої величини похибки вимірювань і підвищення точності існуючих вимірювальних засобів неприпустимо.

Існує технічне рішення (блок БКРЦ), де замість амплітудної маніпуляції сигналу використовується частотна.

Крім вдосконалення технічних рішень апаратури для зниження відмов і підвищення працездатності ТРЛ використовуються різні технології обслуговування.

Процес технічного обслуговування ТРЛ складається з пусконаладжувальних робіт і робіт по забезпеченню працездатності

рейкового кола в експлуатації [26].

Пусконаладжувальні роботи включають в себе настройку апаратури, регулювання рейкового кола, перевірку правильності монтажу і контроль працездатності на основі вимірів напруг в контрольних точках.

Роботи щодо забезпечення працездатності в експлуатації включають періодичний контроль, заміну несправної апаратури, її ремонт і настройку, регулювання рейкового кола.

При періодичному контролі, відповідно до технології обслуговування [36], один раз в квартал передбачені вимірювання:

- напруги на вході колійного реле в нормальному режимі роботи РЦ;
- залишкової напруги на обмотках колійного реле в шунтового режимі роботи

РЦ;

- залишкової напруги сигналу ТРЛЗ і сигналу ТРЛ4 на вході колійного приймача в шунтового режимі роботи РЦ;

- напруги змінного струму на вході колійного приймача в нормальному режимі роботи РЦ;

- напруги змінного струму на виході колійного генератора і виході колійного фільтра.

Ті ж вимірювання виконуються при регулюванні, після заміни приймача, генератора, колійного фільтра або жил кабелю.

Після заміни апаратури виконуються вимірювання напруги приймачів і генераторів ТРЛ, а також вимірювання напруги на кодовому трансформаторі передавальних пристроїв АЛС. Напряга на кодовому трансформаторі слід вимірювати при збоях в роботі АЛС.

Метою регулювання ТРЛ є встановлення необхідних значень на вході колійних приймачів з урахуванням можливої зміни напруги мережі живлення і стану баласту шляхом зміни напруги, що подається з виходу колійного генератора на вхід колійного фільтра.

Регулювання ТРЛ виконується наступним чином. Перевіряється напряга

живлення колійних приймачів і генераторів. На генераторі встановлюється напруга на 20% менше граничного значення і виконується перевірка напруги на вході колійного приймача. Якщо напруга на вході приймача виявиться менше мінімально допустимого, напруга на виході генератора збільшується до моменту, коли напруга на вході колійного приймача виявиться в межах встановлених значень. Якщо при цьому напруга на виході генератора виявиться вище, зазначеного в регулювальній таблиці, вживаються заходи до відшукування і усунення причин невідповідності.

У початковий період експлуатації ТРЛ, вимірювання сигналів проводилися приладами магнітоелектричної системи типів ВЗ-38, ВЗ-38Б, ВЗ-55, Ц4312 і Ц4380. До свідчень цих приладів, через отримані експериментально поправочні коефіцієнти, наводилися результати розрахунку регулювальних таблиць.

Прилади магнітоелектричної системи мають низький вхідний опір, який чинить значний вплив при вимірах сигналів ТРЛ, через що з'являється додаткова похибка. Застосовувати прилади магнітоелектричної системи для контролю параметрів сигналів ТРЛ в даний час не рекомендується.

Ситуація покращилася за рахунок застосування приладів, що використовують СКЗ перетворювачі і методи обчислення СКЗ по цифровому поданням сигналів, таких як В7-63 і ПК-РЦ. Отримані розрахунком значення напруг наводяться до показань приладів тип В7-63. Але, як показує практика, нові прилади не вирішують проблему до кінця.

Для обслуговування ТРЛ, регулювальні таблиці яких розраховані для приладів магнітоелектричної системи, приведення показань приладів типу

В7-63 до показань приладів магнітоелектричної системи здійснюється через коефіцієнти перерахунку.

Значення коефіцієнтів перерахунку неодноразово уточнювалися. Для приймачів встановлювалися коефіцієнти перерахунку: 1,0 - технологічна карта № 36 збірника «Пристрої СЦБ. Технологія обслуговування », 1,3 - лист № ЦШТех-99/33 від 14.07.09, 1,15 - лист № ЦШТех-12/96 від 3.08.2012. Для

генераторів встановлювалися коефіцієнти перерахунку: 1,35 - технологічна карта № 36 збірника «Пристрої СЦБ. Технологія обслуговування », 1,3 - лист № ЦШТех-12/96 від 3.08.2012.

Відповідно до технології обслуговування для виконання всіх передбачених вимірювань рекомендується тільки прилад В7-63, причому з заводським номером більше 3000. Прилади В7-63 з номером менше 3000 не рекомендовані для вимірювань в селективному режимі (залишкові напруги на вході приймачів ТРЛЗ і ТРЛ4 в шунтового режимі) . Прилад ПК-РЦ рекомендований для вимірювання всіх параметрів, крім вимірювань залишкової напруги сигналу ТРЛ4 на вході колійного приймача ТРЛ4. Прилад 4306 рекомендований для вимірювань напруги на колійному реле в нормальному і шунтового режимах роботи, для вимірювань напруги на вході колійного приймача в нормальному режимі роботи, для вимірювань на вторинній обмотці кодового трансформатора і вимірювань напруги живлення приймачів і генераторів. Розглянемо оснащеність залізниці приладами для вимірювання в рейкових ланцюгах. З 805 приладів 486 шт. - Ц4380 і його модифікації, 251 шт. - В7-63 (з них 116 приладів із заводськими номерами менше 3000), 68 шт. - ПК-РЦ і 39 шт. - 4306 (рис. 1.3).

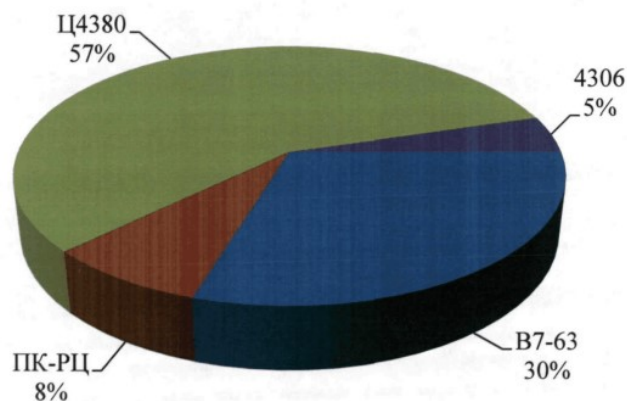


Рис. 1.3 - Оснащення залізниці пристроями для вимірювання в рейкових ланцюгах

Контроль працездатності ТРЛ може здійснюватися СТДМ на основі безперервних вимірювань за технологією автоматизованого обслуговування

[21,37,38], що дозволить перейти від планово-попереджувального методу обслуговування до обслуговування за технічним станом. Технологія передбачає автоматизований контроль параметрів з використанням відповідних технологічних карт і СТДМ. Слід зазначити, що впровадження систем технічної діагностики і моніторингу - не єдина міра по зниженню кількості відмов. Заміна застарілої техніки на нову і вдосконалення технічного обслуговування також вносять вклад в зниження кількості відмов.

Основні напрямків розвитку технічного обслуговування пристроїв ЗАТ розглянуті в роботах [39-46].

Розвиток технологій обслуговування пристроїв ЗАТ направлено на автоматизацію цього процесу, тобто на зниження впливу людського фактора. Основою технології обслуговування є вимірювання сигналів ТРЛ. Для контролю поточного стану, налаштування і регулювання ТРЛ в даний час застосовується ряд приладів різних виробників. Крім того перехід до технічного обслуговування за станом вимагає активної розробки, впровадження та вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювань систем технічної діагностики і моніторингу (СТДМ), що дозволяють відслідковувати динаміку зміни контрольованих параметрів.

Основною тенденцією в метрологічному забезпеченні вимірювань є перехід від завдання забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань до задачі забезпечення якості вимірювань. Поняття якості вимірювань розкривається, наприклад, в [46, 47].

Як зазначалося вище, принцип дії рейкових ланцюгів тональної частоти заснований на використанні амплітудно-маніпульованого сигналу з частотою маніпуляції 8 або 12 Гц. Чутливість приймачів ТРЛ нормується за середньоквадратичним значенням (СКЗ) напруги амплітудно модульованого сигналу. СКЗ характеризує енергію сигналу, цю характеристику використовують з метою діагностики технічного стану більшості пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ).

Принцип дії перетворювачів вимірюють СКЗ аналоговими методами



детально розглядається в [48, 49], а цифровими методами в [50].

Важливою характеристикою для систем діагностики є тривалість циклу вимірювань всіх об'єктів на станції, але при експлуатації зменшення інтервалу вимірювання кожного об'єкта знижує точність [51-53].

В даний час є безліч вимірювальних засобів, що використовують різноманітні методи і способи для вимірювань СКЗ, - ручні прилади й складні автоматизовані системи діагностики. Тому постає питання про ступінь сумісності результатів вимірювань сигналів засобів ЗАТ виконаних різними вимірювальними засобами.

На жаль, питання сумісності вимірів в ТРЛ знаходяться на початковому етапі ізучення. Із публікацій [18, 19, 54] слід що результати, отримані застосовуваними для вимірювань в ТРЛ приладами різних типів і навіть різними приладами одного типу, в залежності від точки включення приладу в рейковий ланцюг, розрізняються на 10-40% між собою. Це говорить про низьку порівнянності таких вимірювань.

Згідно з вимогами інструкції [55] та вимогам [56] при вимірюванні напруги і сили змінного струму сигналів складної форми, похибка вимірювань не повинна перевищувати 5%.

В [20] відзначається, що в технічних умовах на апаратуру ТРЛ в переліку вимірювальних приладів вказано стенд СП-ТРЛ. У РТУ дистанцій СЦБ в більшості випадків апаратуру ТРЛ перевіряють за допомогою пульта АПК-ТРЛ. В результаті відбуваються розбіжності по точності вимірювання електричних параметрів перевіряється апаратури. З цього приводу виникають розбіжності між виробниками і експлуатаційниками. Що загострює необхідно забезпечити єдність вимірювань.

Причинами значної розбіжності показань є різний вхідний опір приладів, параметри дискретизації і квантування, а також складна форма самих сигналів ТРЛ.

Слід зазначити, що форми осцилограм реальних сигналів в експлуатації істотно відрізняється від форми сигналів використовуваних для механізації

тваринницьких ферм вимірювальних засобів рекомендованих для вимірювань в ТРЛ.

Вплив вхідного опору на результат вимірювань актуально тільки для приладів типу Ц4380 і аналогічних з вхідним опором 1360 Ом, це питання детально розглянуто в роботі [17]. Всі цифрові прилади мають опір не менше 1 МОм.

Вплив форми сигналів ТРЛ і операцій дискретизації і квантування на результат вимірювання в літературі розглядаються слабо, в кращому випадку про це згадується і висловлюється припущення про механізм впливу.

Хоча, очевидно, що для коректного визначення СКЗ сигналу ТРЛ необхідно досить великий час вимірювання. Що особливо актуально з огляду на бурхливого розвитку високошвидкісного руху.

В теорії обробки сигналів питання впливу обсягу вибірки (тривалості інтервалу), на якому виконується аналіз сигналу, має велике значення. Наприклад, в спектральному аналізі форма спектра залежить від величини аналізованої вибірки.

Для більш глибокого розуміння проблем технічного обслуговування і вимірювань в ТРЛ слід розглянути існуючі вимірювальні прилади і вимірювачі СТДМ. Прибори для вимірювання сигналів тональних рейкових кіл

Існує кілька вимірювальних приладів, сертифікованих і рекомендованих для вимірювань в ТРЛ. В даному розділі розглядаються найбільш поширені прилади (принцип їх дії при вимірюванні сигналів ТРЛ, методики механізації тваринницьких ферм), які застосовуються при технічному обслуговуванні апаратури ТРЛ: В7-63 (В7-63 / 1), ПК-РЦ (ПК-РЦМ), 4306, МПІ- СЦБ.

Принцип дії приладу В7-63 [57] (і його модифікацій В7-63 / 1 і В7- 63/2) при вимірюванні сигналів ТРЛ заснований на використанні перетворювача СКЗ. При цьому напруга змінного струму перетворюється в напругу постійного струму, пропорційне середньоквадратичного значенням вхідної величини змінної напруги.

У модифікаціях приладу В7-63 / 1 і В7-63 / 2 принцип вимірювання СКЗ

напруги сигналу ТРЛ не змінився. Змінилися лише моделі перетворювача СКЗ.

Прилад ПК-РЦ [58, 59] і його модифікація ПК-РЦ-М [60, 61,62].

Прилад ПК-РЦ має три режими роботи: режим мультиметра, режим аналізатора спектра і режим осцилографа. Прилади надають можливість оцінювати сигнали ТРЛ на основі спектрального аналізу.

У приладі 4306 [63] застосований вимірювальний механізм магнітоелектричної системи з рухомою котушкою на розтяжках з внутрікатушечним магнітом, з механічним покажчиком (стрілкою).

Прилад МПІ-СЦБ є модуль перетворення електричних сигналів, який, підключається до персонального комп'ютера.

В [64] стверджується, що для отримання достовірних результатів вимірювання частота дискретизації сигналу повинна бути не менше ніж в десять разів більше частоти вимірюваного сигналу.

Розглянуті прилади за принципом вимірювань сигналів ТРЛ можна розділити на дві групи:

- прилади, що використовують перетворювачі СКЗ, які напруга змінного струму перетворюють в напругу постійного струму, пропорційне середньоквадратичного значенням вхідної величини змінної напруги (В7-63, В7-63 / 1, 4306);

- прилади, що використовують цифрові методи визначення СКЗ (ПК-РЦ, ПК-РЦ- М, МПІ-СЦБ).

По ширині смуги пропускання на:

- широкосмугові (В7-63, В7-63 / 1, ПК-РЦ, ПК-РЦ-М, 4306);

- селективні (В7-63, В7-63 / 1, МПІ-СЦБ).

У деяких приладів є можливість вимірювань сигналів ТРЛ з урахуванням пауз і без.

У приладі МПІ-СЦБ існує можливість вибору оператором частоти дискретизації.

Для калібрування (повірки) розглянутих приладів використовується калібратори Н4-11, Н4-6 або генератор Г5-60 з ГЗ-110, які видають

маніпулювати синусоїду, а в деяких випадках калібрування виконується сигналом синусоїдальної форми. Форма маніпульованого синусоїдального сигналу відрізняється від форми сигналів в тональних рейкових ланцюгах, що також позначається на якості вимірювань.

## **1.2. Засоби вимірювання сигналів тональних рейкових ланцюгів систем технічної діагностики**

Найбільш оснащеними СТДМ є Донецька дорога (63% станцій і 51% перегонів), Південно-Західна залізниця (48% станцій і 45% перегонів) і Львівська дорога (35% станцій і 51% перегонів). Найменша оснащеність СТДМ спостерігається на Придніпровській дорозі (10% станцій і 5% перегонів), Південній (7% станцій і 22% перегонів).

Введено в роботу дорожні центри технічної діагностики і моніторингу на 6-ти дорогах. На цих дорогах відзначається позитивна динаміка зниження кількості відмов в середньому на 23% порівняно з аналогічним періодом часу в 2010 році.

На Донецькій залізниці темпи впровадження складають 2-3 системи в рік. Причиною є висока вартість будівництва і обслуговування СТДМ, що визначається високою вартістю модулів вимірювання та їх періодичної повірки.

Значно скоротити кількість вимірювальних каналів, отже, знизити вартість будівництва і обслуговування СТДМ, дозволяє метод комутованих вимірювань. При комутованих вимірах один вимірювальний канал послідовно перемикається між джерелами сигналів, а максимальна кількість джерел сигналів обслуговуються одним каналом визначається швидкістю протікання технологічного процесу (швидкістю руху поїздів) і швидкодією вимірювального пристрою.

За 2011 рік зафіксовано 841 відмова пристроїв ЗАТ, з яких 533 віднесені до 1 та 2 категорій за класифікацією системи КАСАНТ, тобто привели до затримки поїздів більше 6 хв, випадків порушення безпеки або погіршення

експлуатаційних показників. Середній час відновлення відмови склав 1 годину 43 хвилини - найгірший показник по мережі доріг. Показник надійності роботи пристроїв автоблокування з ТРЛ по дорозі в 2011 році склав 30,2 відмови на 100 км експлуатаційної довжини ділянок при середній по мережі показнику 21,2.

Знизити кількість відмов і підвищити показник надійності роботи пристроїв автоблокування з ТРЛ дозволяє якісне технічне обслуговування і технічна діагностика стану.

Системи технічної діагностики дозволяють виконувати багаторазові вимірювання, точність таких вимірювань підвищується за рахунок зниження випадкової складової похибки [66-68]. Так як похибка вимірювання сигналів ТРЛ пов'язана з їх формою, а системи діагностики виконують циклічні вимірювання, виникає питання про доцільність виконання багаторазових вимірювань.

В постійній експлуатації перебувають системи АПК-ДК, АДК-СЦБ, АСДК, так само в 2012 році в постійну експлуатацію прийнята система СТД-МПК [69]. В цілому побудовано 2277 системи з них АПК-ДК - 1654, АДК-СЦБ - 338, АСДК - 285 (рис. 1.4).

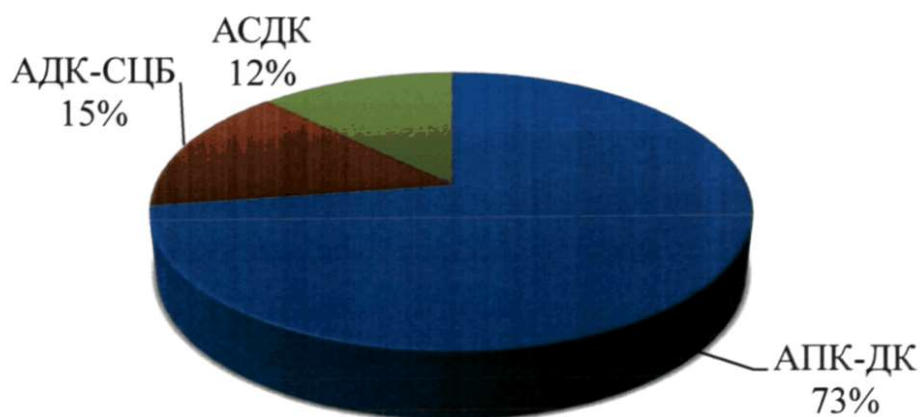


Рис.1.4. Розподілення часток за впровадженими СТДМ

Всі розглянуті СТДМ мають модулі для вимірювання сигналів ТРЛ, опис і технічні характеристики модулів.

В системі АПК-ДК для вимірювань сигналів ТРЛ використовуються

вимірювачі КК-ТрЛ-8 [70] і АДТрЛ [71].

Система АДК-СЦБ має в своєму складі два пристрої для вимірювань сигналів ТрЛ - МАВ2 [17, 72] і ММА2С [72, 73].

Основним технічним засобом системи АСДК для збору аналогової інформації є модуль вводу аналогових сигналів АБС48 в складі аналогово-цифрового перетворювача ІАС-АТ в системах автоматики і телемеханіки [74, 75].

Всі розглянуті вимірювачі систем діагностики є багатоканальними, визначають СКЗ цифровим способом, виконують як селективні (КК-ТрЛ-8, АДТрЛ, ММА2С), так і широкосмугові (АДТрЛ, МАВ2, АОС48) вимірювання. Інтервал виміру становить 1 с і більше. Немає єдності при виборі частоти дискретизації.

Існує два підходи до забезпечення багатоканальних вимірювань: одночасні вимірювання по кожному каналу і послідовні (комутовані вимірювання).

Спостерігається два принципово різних підходи в забезпеченні багатоканальне <sup>ТМ</sup> засобів вимірювальної техніки (рис. 1.5).

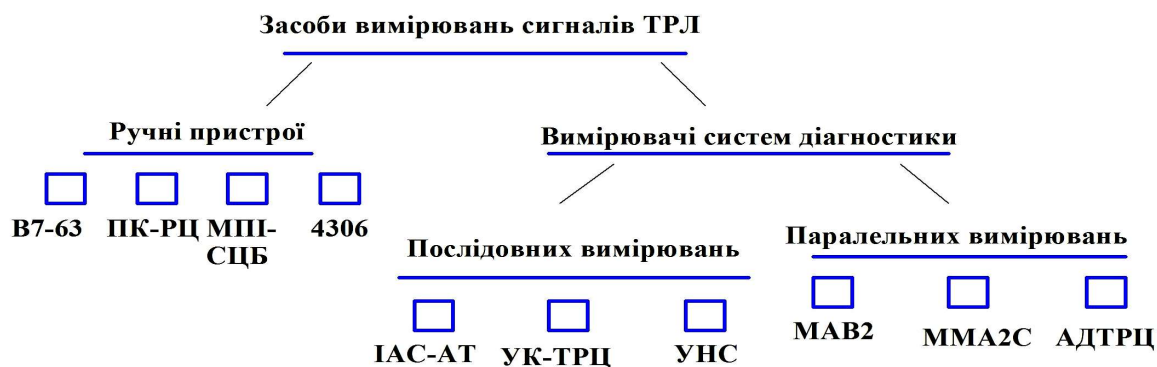


Рис 1.5 - Класифікація засобів вимірювань сигналів ТрЛ

Перший підхід полягає у виділенні окремого вимірювального каналу для кожної точки рейкового кола, де потрібно виконувати вимірювання (МАВ2, ММА2С, АДТрЛ). При цьому збільшуються обсяги та вартість калібрування вимірювальних каналів. Другий підхід - виконання послідовних (комутованих)

вимірювань, коли до одного вимірника, через комутуючі пристрій, підключається декілька точок, в яких необхідно провести вимірювання (КК-ТРЛ, ІАС-АТ, УНС). При такому підході, особливо в умовах розвитку високошвидкісного руху, критичним стає час циклу для одного вимірювального каналу.

Аналіз технічних рішень ТРЛ, технологій обслуговування, методів, способів і засобів діагностики і вимірювань ТРЛ показав:

1. Основні причини відмов систем автоблокування з ТРЛ пов'язані з впливом людського фактора. Значно зменшити вплив людського фактора дозволяє технологія автоматизованого обслуговування за допомогою СТДМ. Впровадження СТДМ обмежена високою вартістю впровадження та обслуговування. Найменша оснащеність СТДМ спостерігається на Свердловській дорозі, а темпи впровадження складають 2-3 системи в рік.

2. Основою системи технічного обслуговування ТРЛ є вимірювання тиску в контрольних точках рейкового кола. Сигнали ТРЛ мають складну форму, тому для вимірювань потрібні спеціальні засоби вимірювань. Розроблено кілька спеціалізованих вимірювальних засобів, але їх показання різняться на 10-40% в залежності від точки підключення, при цьому, за встановленим вимогам, похибка вимірювань в ТРЛ не повинна перевищувати 5%.

3. Основними шляхами розвитку ТРЛ є: підвищення завадостійкості та надійності, вдосконалення принципів обслуговування та регулювання, самодіагностика апаратури, розширення функціональності. Більшість розробок нової апаратури рейкових кіл засновані на принципі дії ТРЛЗ. Найбільші відмінності від апаратури ТРЛЗ має апаратура рейкових кіл блоку БКРЦ системи АБТЦ-М, в блоці використовується частотна маніпуляція сигналів.

4. Прилади магнітоелектричної системи реагують на середньовипрямлене значення сигналу змінного струму, а шкала розмічена для вимірювання СКЗ напруги синусоїдальних сигналів. Для отримання істинного СКЗ амплітудно-модульованого сигналу потрібно виконати перерахунок

показань приладу магнітоелектричної системи, через коефіцієнт враховує відмінність форм сигналів. Так як форма сигналів в різних точках рейкового кола різняться, коефіцієнти повинні мати різні значення в залежності від точки підключення в рейковий ланцюг, що створює незручності в експлуатації і дає можливість для появи помилок при виконанні перерахунків.

5. Частота маніпуляції сигналів ТРЛ становить 8 або 12 Гц, що обмежує швидкість виконання вимірювань. Швидкодія існуючих засобів вимірювань сигналів ТРЛ становить не менше 1 с.

6. Використовуваної на практиці моделі сигналів ТРЛ є маніпулювати синусоїда, форма якої значно відрізняється від реальних сигналів ТРЛ. У використовуваної моделі відсутня математичний опис.

Для досягнення мети дослідження потрібно вирішити такі завдання:

- розробити модель математичного опису сигналів ТРЛ;
- розробити рекомендації щодо забезпечення порівнянності результатів вимірювань сигналів ТРЛ;
- створити методику визначення застосовності існуючих засобів для вимірювань сигналів ТРЛ;
- розробити заходи щодо зниження вартості періодичної повірки засобів вимірювання СТДМ.ІЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ тональних рейкових кіл

### **1.3.Вплив форми сигналу на результат вимірювань**

Досліджуємо, як впливає форма сигналу ТРЛ на розкид показань приладів. Сигнали ТРЛ характеризуються середньквдратическим значенням (СКЗ). СКЗ є мірою здатності електричного сигналу виділяти теплоту, визначається як площа під кривою сигналу, усереднена на інтервалі часу  $t$ . При  $t = T$  виходить справжнє СКЗ. Якщо сигнал періодичний, то середня площа кожного періоду - величина постійна і дорівнює середній площі будь-якого числа періодів, тобто для періодичних сигналів справжнє СКЗ може бути отримано при  $t = kT$ , де  $T$ - період сигналу і  $k$ , до - натуральне число.



Причому, величина похибки буде визначатися формою сигналу, тривалістю інтервалу вимірювань  $t$ , а так же фазою сигналу в момент початку вимірювань. Таким чином, розглянута методична похибка визначається не тільки характеристиками засобів вимірювань, але і властивостями самого сигналу.

Тому в прикладних задачах створення засобів вимірювання для систем моніторингу виникає необхідність визначити інтервал інтегрування, що забезпечує задану (максимальну) точність вимірювань.

Можливі такі підходи до вибору інтервалу інтегрування:

- використовувати пристрої виділення періоду сигналу;
- задати фіксований інтервал інтегрування.

Пристрої виділення періоду (УВП) зазвичай використовують прості алгоритми, наприклад фіксацію моменту переходу сигналу через 0. Вони можуть бути застосовані в приладах для вимірювання сигналів щодо простої форми: синусоїдальних сигналів, прямокутних імпульсів і т.д.

Сигнал ТРЛ має складну форму (рисунок 2.2), для таких сигналів даний спосіб не підходить - немає простих і очевидних критеріїв виділення періоду сигналу, що призводить до непрогнозованою помилку вимірювання СКЗ. Виміряти середньоквадратичне значення такого сигналу зручніше, задавши фіксований інтервал інтегрування. Застосовувати спосіб вимірювань з використанням УВП можна і для вимірювань сигналів простої форми. Однак в прикладних задачах виникає питання: якою буде точність вимірювань СКЗ в умовах реальних обмежень часу інтегрування і / або точності УВП. Потрібно розробити метод апріорної оцінки похибки вимірювань, пов'язаної з перерахованими факторами, який дозволить сформулювати вимоги для синтезу вимірювальних пристроїв із заданою точністю вимірювань.

Так як основу сигналів застосовуються в пристроях ЗАТ становить сигнал синусоїдальної форми (наприклад, сигнал ТРЛ являє собою модульовану синусоїду) розглянемо спочатку процес визначення СКЗ саме такого сигналу. При вимірюванні СКЗ на інтервалі часу, кратному напівперіоду,

результат буде точним, тобто буде дорівнює і відповідати середньоквадратичного значенням цього сигналу на необмеженій інтервалі часу.

Під дією різних причин в реальних системах неможливо забезпечити кратність інтервалу інтегрування напівперіоду сигналу:

- частота реальних сигналів під впливом зовнішніх факторів змінюється в часі;
- розкид параметрів елементів вимірника (приладу) призводить до відхилення часу вимірювання від розрахункового;
- в разі вимірювання групи сигналів різних частот або сигналів в деякому діапазоні частот.

Збільшувати точність вимірювань за рахунок збільшення інтервалу вимірювання часто неможливо, так як не забезпечуються вимоги до швидкодії вимірювальної системи (наприклад, реальні обмеження на час прийняття рішення в системах авторегулювання). В результаті виникає додаткова (методична) похибка вимірювання СКЗ.

Таким чином, відхилення часу вимірювання від значень, кратних періоду вимірюваного сигналу, призводить до додаткової методичної похибки вимірювань.

При будь-якому фіксованому інтервалі вимірювання  $T$  залежність похибки виражена періодичною функцією з періодом  $2\pi$ . З графічного представлення функції  $\epsilon(\omega, T)$  (рисунк 2.3), отриманого за допомогою системи комп'ютерного моделювання МАТІАВ 7 [77-80], видно, що функція має локальні максимуми і мінімуми, а також нульові значення в будь-якому перетині уздовж осей  $\omega$  і  $T$ .

Отримані залежності, з одного боку, підтверджують два основні методи підвищення точності вимірювань СКЗ на обмежених інтервалах часу, наведених раніше, з іншого дозволяють чисельно сформулювати вимоги до точності визначення кордону періоду для УВП або вимоги до тривалості фіксованого інтервалу вимірювання, що дозволяє забезпечити задану точність результату

інтегрування .

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛУ ВИМІРЮВАНЬ ПО ЗАДАНІЙ ВЕЛИЧИНІ ПОХИБКИ ДЛЯ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СИГНАЛУ

Визначимо тривалість фіксованого інтервалу вимірювання  $\tau$ , що не синхронізованого у часі з вимірюваним сигналом для досягнення заданої точності  $E_3$ . З [67] висловимо  $\tau$ :

$$\tau = \frac{1}{(E_3^2 + 2E_3) \cdot 2\pi F_c}$$

Визначимо, використовуючи даний вираз, тривалість фіксованого інтервалу вимірювання, які не синхронізованого у часі з періодом вимірюваного сигналу, при якому гарантовано досягається задана похибка вимірювання (рисунок 2.1, область праворуч від вертикальної лінії). Інтервал виміру для забезпечення заданої похибки можна скоротити при виконанні підбору тривалості інтервалу вимірювання до вимірюваного сигналу (рисунок 2.1, область зліва від вертикальної лінії).

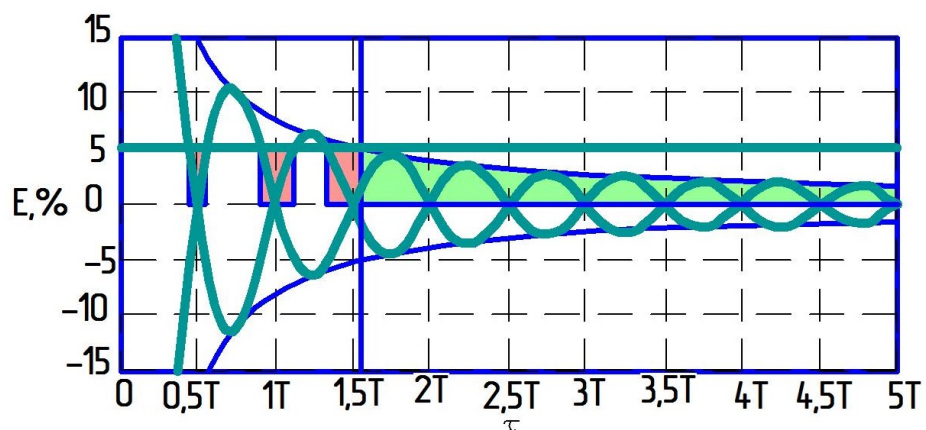


Рис.2.1. Тривалість інтервалів часу вимірювання, при яких досягається точність вище 5 %

Якщо при виборі інтервалу вимірів не враховувати період вимірюваних

сигналів (саме так ми діємо на практиці), то для оцінки похибки вимірювань потрібно керуватися кривою з'єднує максимуми відхилень. Ця залежність досить повільно прагне до 0. Так для сигналу 50 Гц (рисунок 2.2), похибка при інтервалі вимірювання 35 мс складе не менше 5%, при 165 мс - 1%, реалізація точності 0,2% потребують часу вимірювання не менше 0,8 с.

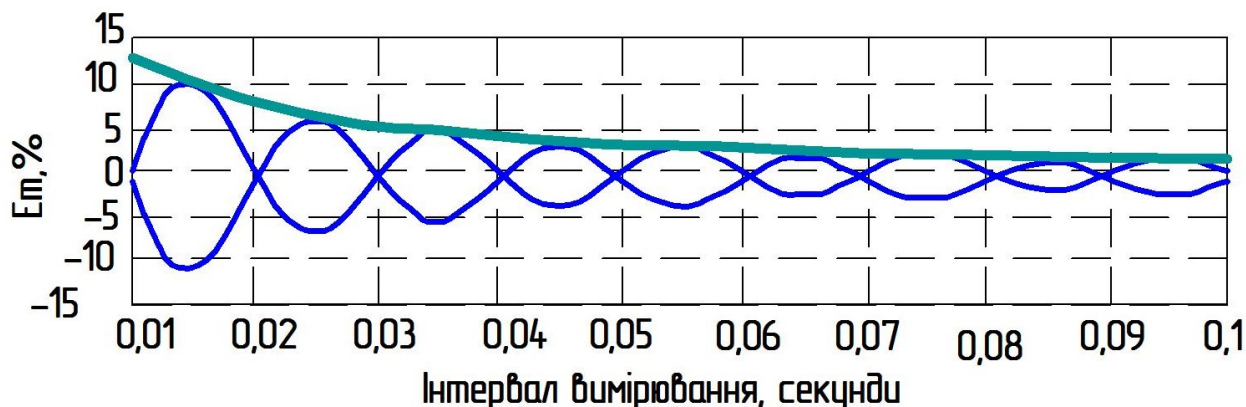


Рис.2.2. Залежність помилки від інтервалу вимірювання для синусоїдального сигналу 50Гц

Прийmemo інтервал вимірювання кратним нормативного періоду частоти 50 Гц, тоді період сигналу буде відрізнятися на 0,79% при збільшенні частоти а 0,4 Гц і на 0,81% при зменшенні частоти на 0,4 Гц, що призводить до появи похибки. При відхиленнях частоти сигналу, в залежності від інтервалу вимірювання при випадкової початковій фазі, похибка визначення СКЗ буде перебувати в межах заштрихованої області (рисунок 2.3.).

Впливає, що в найгіршому випадку при часу вимірювання в околиці 0,1 с похибка досягне 1,58%, в той час як по рис.2.3. видно, що при використанні методу вибору фіксованого інтервалу вимірювання похибка буде майже в 4 рази менше. Залежно від відхилення частоти сигналу в часі в межах ГОСТ, отримати похибка менше 0,3% можна при  $t$  рівному або більше 0,52 с (26 періодів сигналу частотою 50 Гц), а похибка менше 0,1% при  $t$  рівному або більше 1,6 с (80 періодів сигналу частотою 50 Гц).

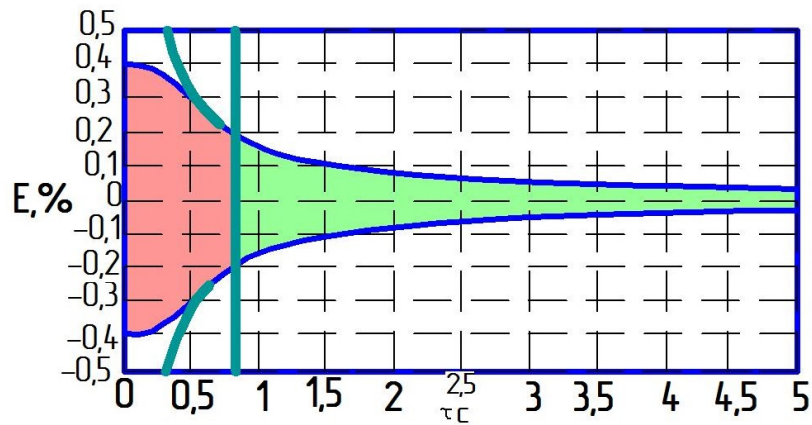


Рис.2.3. Область вимірювання помилки в залежності від тривалості часу вимірювання при відхиленнях частоти сигналу в межах ДСТУ13109-97

Для визначення СКЗ сигналів складної форми, період яких виділити важко, слід використовувати фіксований інтервал вимірювання. Неправильний вибір тривалості цього інтервалу викликає значну похибку вимірювань.

Отримано метод визначення тривалості інтервалу вимірювання для досягнення заданої точності при вимірюванні синусоїдального сигналу.

## 2.1. Вплив форми сигналів тональних рейкових ланцюгів на вимірювання

Для підвищення швидкості виконання вимірювань потрібно підібрати інтервал вимірювання близько до цілого числа напівперіодів вимірюваного сигналу. При вимірах СКЗ змінних струмів і напруг, форма кривої яких відрізняється від синусоїдальної, виникає додаткова похибка [82- 85]. Тому результати, отримані для сигналів синусоїдальної форми, не підходять для оцінки похибки при вимірах сигналів ТРЛ.

Розглянемо ТРЛ в різних точках рейкового ланцюга: на вході колійного приймача (рис.2.4.) і на виході. Також їх спектри щоб виявити, як форма сигналів впливає на результати вимірювань.

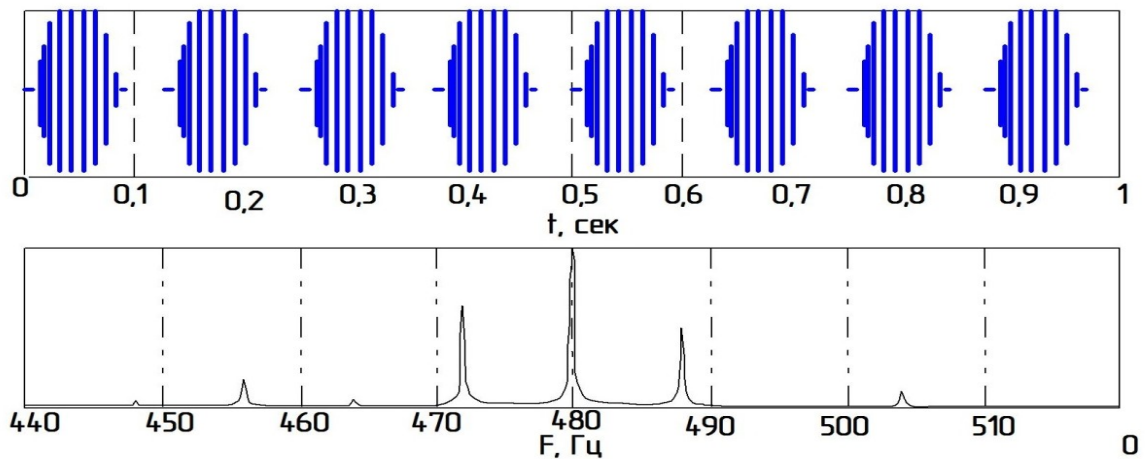


Рис.2.4. Сигнал на виході коливного фільтру ТРЛ і його спектр

Для дослідження впливу форми сигналів ТРЛ на результат вимірювань потрібно математична модель, що описує такі сигнали. Вид спектрів вказує, що ці сигнали можна розглядати як однотональний амплітудно модульовані (ОАМ) сигнали з перемодуляції (коефіцієнтом модуляції більше 1). Такий сигнал складається з несучого і модулюючого коливань, а заміна реальних сигналів ТРЛ на ОАМ дозволить дослідити вплив інтервалу вимірювань, форми і початкової фази сигналу на точність вимірювань. Вираз пропонується використовувати в якості математичної моделі для опису сигналів ТРЛ. Коефіцієнт  $M$  повинен бути більшим за одиницю (виходячи з виду спектрів на рис. 2.4.).

Математична модель для опису сигналів ТРЛ:

$$S(t) = U_m [1 + M \sin(2\pi F_M t + \varphi_M)] \sin(2\pi F_H t + \varphi_H),$$

$M$  – коефіцієнт модуляції (більше 1)

Даний вираз пропонується використовувати в якості математичної моделі для опису сигналів ТРЛ. Коефіцієнт  $M$  повинен бути більше одиниці (виходячи з виду спектрів на рис.2.4.)

Оцінимо якість моделі, порівнявши площа під кривою сигналу з площею під кривою описуваної моделлю сигналу ТРЛ в даній точці рейкового кола. За спектрами (малюнки 2.4-2.5) отримаємо коефіцієнти модуляції для сигналів

ТРЛ в конкретних точках рейкового кола. Коефіцієнти модуляції визначені як відношення суми амплітуд на першій верхній і на першій нижній бічних частотах до амплітуди на несучій частоті (відношення суми перших бічних піків до центрального піку). На виході генератора коефіцієнт  $M = 1,312$ , на виході фільтра  $M = 1,295$ , а на вході приймача  $M = 2,82$ . Результати порівняння сигналів ТРЛ і моделей на основі відповідних коефіцієнтів модуляції показали, що на виході генератора площі розрізняються не більше 7%, на виході фільтра - не більше 10%, на вході приймача - не більше 3%.

Для порівняння оцінимо різницю площ сигналів в різних точках тональної рейкового кола і площі, обмеженою маніпульованою синусоїдою. Для сигналу на виході генератора відмінності склали близько 13%, на виході фільтра - 11%, на вході приймача - 19%.

Таким чином, запропонована модель адекватна, показує хороший збіг з фактично вимірними сигналами, дозволяє проаналізувати вплив форми сигналу в широкому діапазоні умов на точність вимірювань, отримати аналітичний вираз для оцінки максимальної похибки вимірювання.

Встановимо за отриманою моделі вплив форми сигналу ТРЛ на похибку вимірювань. Обчислення після підстановки в нього дає складне вираз, практичне використання, якого, важко. ОАМ сигнал складається з двох синусоїдальних складових з різними частотами, причому частота модуляції значно нижче несучої частоти. Як показано вище похибка вимірювання СКЗ синусоїдального сигналу згасає зі збільшенням інтервалу вимірювання і має нульові значення, якщо в інтервал вимірювання поміщається ціле число напівперіодів. Тому можна припустити, що несуча частота чинить менший вплив на похибку, ніж частота модуляції при вимірюванні сигналу ТРЛ. Так як сигнал ТРЛ не має симетрії щодо напівперіоду, на відміну від синусоїдального сигналу. Щоб позбутися від впливу модулюючої частот.

Розглянемо залежність величини методичної похибки вимірювання сигналу ТРЛ від форми обвідної.

$$S(t) = U_m [1 + M \sin(2\pi F_M t + \varphi_M)].$$



Вираз для визначення середньоквадратичних значень (СКЗ) обвідної сигналу ТРЛ

$$U = U_m \sqrt{\frac{M^2+2}{2} + 2M \frac{\cos(\frac{\psi}{2}) - \cos(2\pi F\tau + \frac{\psi}{2})}{\pi F\tau} + \frac{M^2}{2} \frac{\sin(\psi) - \sin(4\pi F\tau + \psi)}{4\pi F\tau}},$$

$\psi = 4\pi F_M t_0 + 2\phi_M -$  величина, яка залежить від моменту початку вимірювання

Справжнє значення СКЗ обвідної:

$$E = \left( \sqrt{1 + \frac{4M}{2+M^2} \frac{\cos(\frac{\psi}{2}) - \cos(2\pi F\tau + \frac{\psi}{2})}{2\pi F\tau} + \frac{M^2}{2+M^2} \frac{\sin(\psi) - \sin(4\pi F\tau + \psi)}{4\pi F\tau}} - 1 \right) 100\%.$$

$\tau$  – інтервал вимірювання

Розглянемо, як впливає похибка від несучого колювання на одному періоді сигналу ТРЛ на результат вимірювань. Несе колювання сигналу ТРЛ являє собою синусоїду з частотами для ТРЛЗ 420, 480, 580, 720 або 780 Гц, а для ТРЛ4 4545, 5000 або 5555 Гц. Найбільша методична похибка для синусоїдального сигналу може бути визначена за виразами (2.8 і 2.9).

Якщо інтервал вимірювання не синхронізований з сигналом ( $y$  - випадкова величина), то для отримання точних кордонів області методичної похибки можна визначити максимальні і мінімальні значення, які можуть приймати функції

$$K_1 = \cos(\psi/2) - \cos(2\pi F\tau + \psi/2) \text{ и } K_2 = \sin(\psi) - \sin(4\pi F\tau + \psi)$$

при однакових значеннях аргументів. Можна також визначити із заданою вероятністю значення  $K$  і  $A_3$  шляхом статистичних досліджень реальних сигналів ТРЛ.

Перший спосіб не враховує відмінностей ОАМ-моделі від реальних сигналів ТРЛ, які мають в своєму спектральному складі додаткові гармонічні

складові (малюнки 2.4). Тому похибка реальних сигналів може виходити за отримані кордону.

Другий спосіб має велику трудомісткістю, хоча дозволяє отримати найбільш точні результати.

Можливо, також, замінити кожен тригонометричний функцію її безлічно значень. При однакових значеннях аргументів безліч значень функції будуть дещо вужче, але це забезпечить запас для обліку відмінностей між ОАМ-моделлю і сигналами ТРЛ, а також спростить розрахункові вирази. Надалі запропонована модель може бути уточнена.

Замінімо тригонометричні функції безлічно їх значень і отримаємо:

$$E_{max} = \left( \sqrt{1 + \frac{M(8+M)}{2\pi F\tau(2+M^2)}} - 1 \right) 100,$$
$$E_{min} = \left( \sqrt{1 - \frac{M(8+M)}{2\pi F\tau(2+M^2)}} - 1 \right) 100.$$

Коефіцієнти модуляції сигналів ТРЛ знаходяться в межах від 1 до 4 що видно по їх спектральному поданням. Для зазначеної області побудуємо залежність похибки від коефіцієнта модуляції для двох значень інтервалу вимірювання  $\tau = 1,5$  періоду обвідної і  $\tau = 1,75$  періоду обвідної.

Обидва графіки показують, що максимум похибки спостерігається при значенні коефіцієнта модуляції приблизно рівному 1,7. Використовуємо саме це значення, щоб отримати кордону області похибки для сигналів ТРЛ. Обчислені за реальними сигналами ТРЛ середньквдратические значення в різних точках рейкового кола не виходять за область похибки, отриманої по розробленій моделі (рисунок 2.5)

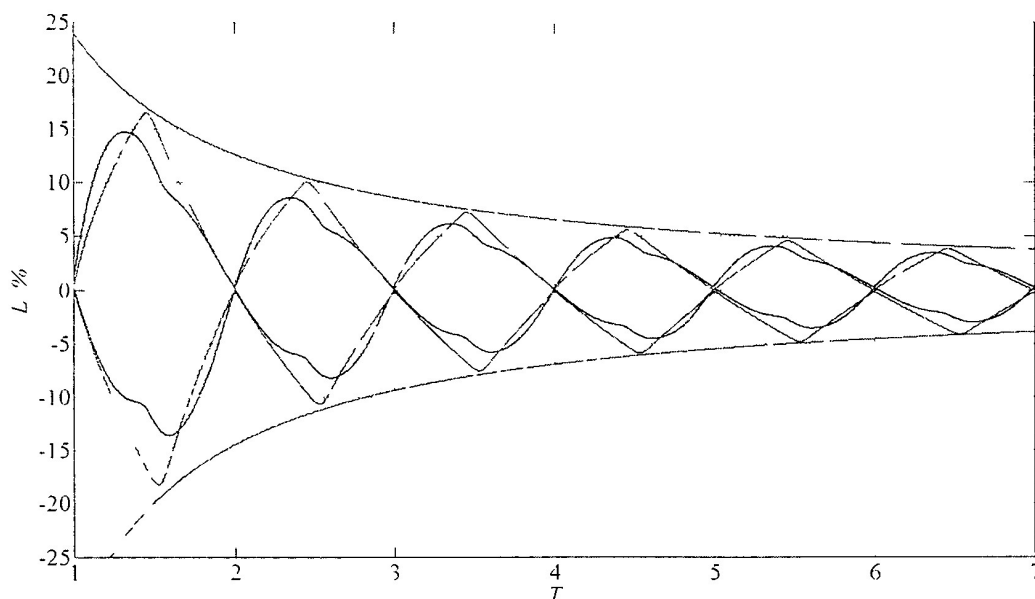


Рис.2.5. Область похибки і залежності СКЗ від інтервалів вимірювання для сигналів ТРЛ

Необхідний інтервал вимірювань для забезпечення заданої величини похибки визначається за виразом:

$$\tau = \frac{M(M+8)}{2\pi F(E_3^2 + 2E_3)(M^2+2)}$$

Межі області похибки досягають значення менше 2% при інтервалі вимірювання більше 14 періодів сигналу ТРЛ (1,17 с для частоти модуляції 12 Гц або 1,75 с для частоти модуляції 8 Гц), менше 1% при інтервалі вимірювання більше 27 періодів (2,25 з для частоти модуляції 12 Гц або 3,375 с для частоти модуляції 8 Гц). Крім того, вимірювач повинен забезпечувати значення похибки вимірювань для обох частот модуляції, тобто слід вибирати найбільший інтервал вимірювання. Застосування такого способу для вибору параметрів вимірювачів сигналів ТРЛ вельми обмежена - отриманий вимірювач буде володіти недостатнім бистродействием.

## 2.2. Вплив дискретизації на результат вимірювань

Розглянемо можливості збільшення швидкодії вимірювачів без втрати точності вимірювань. Побудуємо графік функції в системі комп'ютерного моделювання MATLAB [77-80]. Графіком функції похибки вимірювань є поверхню, що залежить від двох змінних: фази в момент початку вимірювань і інтервалу вимірювань. Вважаючи, що впливати на фазу вимірюваного сигналу ми не можемо, інтерес буде представляти проекція отриманої залежності в площині ( $\tau$ ;  $\epsilon$ ), наведена для значення коефіцієнта модуляції  $M = 1,7$  (рис. 2.6).

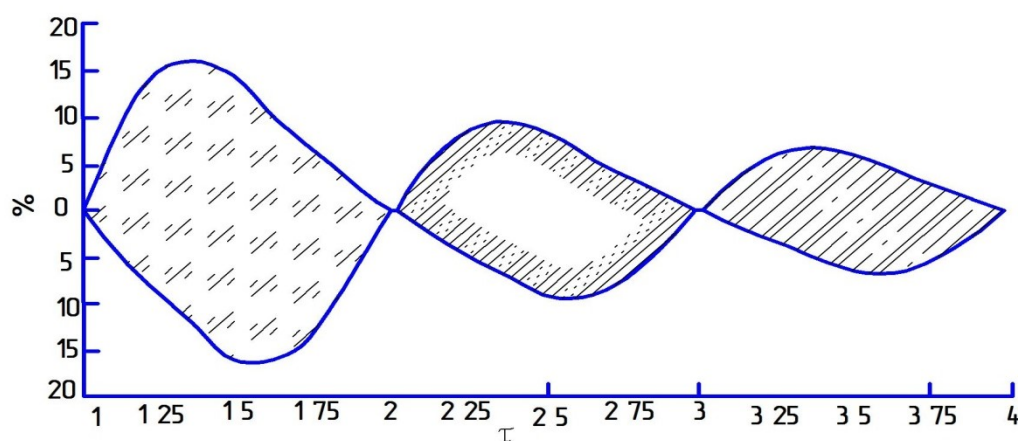


Рис.2.6. Залежність похибки від інтервалу вимірювання для сигналів ТРЛ

Похибка може приймати будь-які значення з заштрихованої області, в залежності від фази сигналу в момент початку вимірювання при заданому інтервалі вимірювання.

Точки, в яких похибка дорівнює нулю, відповідають випадку, коли в інтервал вимірювання поміщається ціле число періодів сигналу.

Для синтезу вимірювача потрібно використовувати інтервали вимірювання, на яких поміщається ціле число періодів сигналів ТРЛ з частотами модуляції 8 Гц і 12 Гц одночасно. Такими інтервалами вимірювань для сигналів ТРЛ є: 0,25 с; 0,5 с; 0,75 с; 1 с; 1,25 с; 1,5 с; 1,75 с; 2 с; 2,25 с; 2,5 с; 2,75 с; 3 з і т.д. Чим менше значення інтервалу вимірювання, тим більшої величини може досягати похибка при відхиленні від номінальних значень і

розрахункових параметрів (частота модуляції сигналів ТРЛ, величина постійної часу для аналогових приладів, частота дискретизації і розрядність АЦП для цифрових засобів вимірювань). Точне значення похибки при цьому може бути отримано за допомогою моделювання.

На основі запропонованої моделі можна також сформулювати вимоги до допустимого відхилення інтервалу вимірювання від періоду модуляції для забезпечення необхідної точності вимірювань (рисунк 2.7).

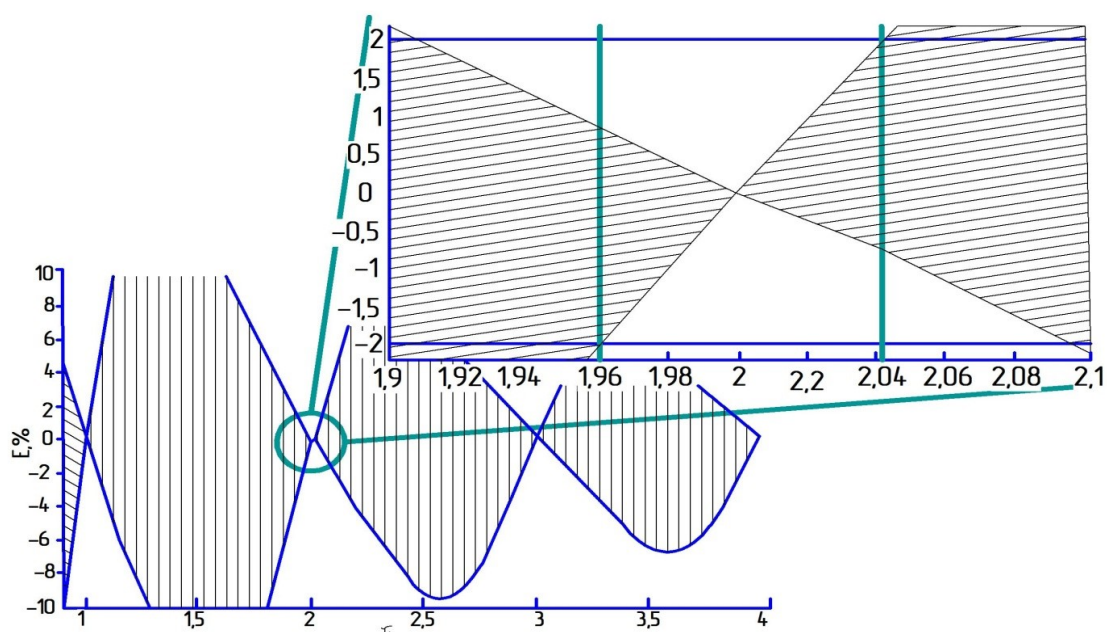


Рис.2.7. Відхилення інтервалу вимірювання

Наприклад, для забезпечення похибки не більше 2% час вимірювання для ТРЛ може відхилятися від 0,25 с (2 періоду частоти 8 Гц) на 0,005 с, від 0,5 с (4 періоду частоти 8 Гц) на 0,01 с. Відхилення часових параметрів не повинно перевищувати 2%

Таким чином, можна істотно підвищити швидкодiю засобів вимірювань сигналів ТРЛ з 1,66 с до 0,25 с (більше 6 разів) для величини похибки 2% за умови, що відхилення інтервалу вимірювання не перевищить 2%. Такі вимоги можуть бути легко реалізовані в цифрових засобах вимірювань.

Для подальшого підвищення швидкодiї (менше 0,25 с) слід розглядати можливість використання вагових функцій, що знижують вплив форми сигналу

по кінцях інтервалу вимірювання.

Коригування інтервалу вимірювання існуючих цифрових приладів дозволить забезпечити порівнянність результатів вимірювань сигналів ТРЛ при істотному підвищенні швидкодії.

У вимірі на основі ТЯЦЕ-ЯМ8 перетворювачів інтервал вимірювання задається за допомогою усереднюючого конденсатора. Сигнал ТРЛ є низькочастотним, тому потрібно конденсатор великої ємності, але такі конденсатори мають низьку точність (10-20%). Через це, в приладах на ТЯЦЕ-ЯМЕ перетворювачах, неможливо забезпечити відхилення інтервалу вимірювання менше 2%, і як наслідок, неможливо забезпечити високу точність при високій швидкодії вимірювача.

Крім того, інтервал виміру приладу на основі ТЯІЕ-ЯМЗ перетворювача з усереднюють конденсатором великої ємності може змінитися, наприклад, через зниження ємності конденсатора. Тому забезпечити високу швидкодію аналогових приладів для даного типу сигналів з використанням запропонованого методу практично не доцільно. Реально забезпечити точність можна тільки вибором збільшеного інтервалу вимірювань, який компенсує низьку точність конденсатора (наприклад, для забезпечення точності вимірювань 2% потрібно інтервал вимірювань сигналів ТРЛ близько 2 с).

Тому цифрові засоби вимірювань забезпечують більшу швидкодію при вимірюванні сигналів ТРЛ, не використовують, що вимагають додаткового контролю, малонадійних елементів для формування інтервалу вимірювання. Внаслідок застосування цифрових вимірювальних засобів при вимірах сигналів ТРЛ більш переважно.

Незважаючи на широке поширення цифрових вимірювачів СКЗ, для ТРЛ питання впливу дискретизації на точність вимірювань залишаються недослідженими. Слід зазначити, що використовувати способи оцінки похибки при вимірюванні СКЗ, розроблені в теорії зв'язку некоректно - ці теорії оцінюють відміну форми сигналу отриманого по дискретному поданням від вихідного сигналу.

СКЗ є мірою здатності електричного сигналу виділяти теплоту, визначається як площа під кривою сигналу, усереднена на інтервалі часу  $t$ .

Тому для оцінки впливу дискретизації порівняємо відміну площі вихідного сигналу від площі, отриманої в результаті дискретизації.

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} u_i^2}.$$

При визначенні СКЗ форма сигналу не відновлюється, визначається усереднена площа під кривою сигналу. Для оцінки похибки вимірювання СКЗ порівняємо площа під кривою сигналу з площею, отриманої по дискретному поданням цього сигналу.

Якщо знехтувати впливом операції квантування за рівнем і розглядати тільки випадок рівномірної дискретизації. Площа під дискретним сигналом визначається як сума площ прямокутників з шириною рівною часу дискретизації і висотою дорівнює значенню сигналу.

$$S_d = T_d \left[ \sum_{i=0}^{N-1} U_m^2 \sin^2 \left( i \frac{2\pi}{T_c} \frac{\tau}{N} + \varphi_0 \right) \right],$$

$\tau$  – інтервал вимірювання

$N$  – число звітів,

$T_c$  – період сигналу,

$\varphi_0$  – початкова фаза сигналу,

$T_d$  – час дискретизації,  $U_m$  – амплітуда сигналу.

Так як основу сигналів застосовуються в пристроях ЗАТ становить сигнал синусоїдальної форми (наприклад, сигнал ТРЛ являє собою маніпулювати синусоїду) розглянемо процес визначення СКЗ по дискретному представленню синусоїдального сигналу. Істинне середньквдратическое значення синусоїдального сигналу відомо.

СКЗ дискретного сигналу:

$$U = \sqrt{\frac{U_m^2}{N} \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \sin^2 \left( i \frac{2\pi \tau}{T_c N} + \varphi_0 \right) \right]}$$

Похибка вимірювання СКЗ (синусоїдального сигналу):

$$R(\varphi_0, \tau, N) = \left( \sqrt{\frac{2}{N} \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \sin^2 \left( i \frac{2\pi \tau}{T_c N} + \varphi_0 \right) \right]} - 1 \right) \cdot 100\%.$$

Початкова фаза сигналу  $\varphi_0$  при вимірах - випадкова величина, тому величина похибки буде визначатися часом вимірювання  $\tau$  і числом відліків  $N$  при найбільш несприятливому початковій фазі сигналу.

Розглядається вираз включає себе не тільки складову, обумовлену дискретизацією  $\tau$  ( $\tau$ ,  $T_0$ , але і складову від неправильного вибору інтервалу вимірювання  $E(\tau)$ ):

$$R(\tau, N) = D(\tau, N) + E(\tau).$$

Якщо інтервал вимірювання дорівнює цілому числу напівперіодів синусоїдального сигналу, то дискретизація на точність вимірювань СКЗ не впливає. На графіку залежності за виразом в точках, відповідних інтервалу вимірювання кратному напівперіоду сигналу спостерігаються нулі.

Найбільшого значення похибка може досягати, якщо інтервал вимірювання кратний чверті періоду синусоїдального сигналу, в цьому випадку ситуація погіршується при малій кількості відліків на період сигналу і при коротких інтервалах вимірів.

З ростом числа відліків на період сигналу (зменшенням часу дискретизації) вплив дискретизації знижується, величина похибки, в основному, визначається складовою зумовленої неправильним вибором



інтервалу вимірювання.

Для більш детального вивчення впливу дискретизації на похибку вимірювань СКЗ віднімемо з виразу складову, пов'язану з неправильним вибором інтервалу вимірювання .

Для розглянутих графіків, також, найгірший випадок спостерігається, коли період вимірювання відрізняється на  $1/4$  періоду сигналу, а при періоді вимірювання кратному напівперіоду сигналу дискретизація не впливає на точність вимірювань СКЗ.

Якщо частота дискретизації в 2 рази вище частоти сигналу, можлива похибка досягає 41% і не може бути менше 27%, в цьому випадку діапазон значень похибки не зменшується з збільшенням відстані вимірювань. При частоті дискретизації в 4 рази перевищує частоту сигналу можлива похибка не перевищить 0,9% для інтервалу вимірювання більше 5 періодів сигналу.

Чим більше частота дискретизації перевищує частоту сигналу, тим швидше затухає похибка з збільшенням відстані вимірювання (твердження справедливе для випадку, коли частота дискретизації перевищує частоту сигналу більш ніж в два рази).

### **2.3. Визначення значень допускових параметрів**

Технічний стан об'єкта контролю визначається значенням узагальненого показника якості  $W$  або вектора параметрів  $U$ . Для того щоб приймати рішення про здатність об'єкта контролю виконувати своє призначення, необхідно визначити область значень показника якості та параметрів, яка відповідає поняттю працездатності. Виділення області працездатності призводить до того, що замість безлічі станів об'єкт контролю може перебувати тільки в двох можливих станах: «придатний» або «не придатний». Нехай, наприклад, узагальнений показник якості є ймовірністю виконання завдання, і область працездатності визначається відрізком числової осі  $[W_T, 1]$ . Тоді, якщо  $W \geq W_T$ , то об'єкт визнається придатним, а якщо  $W < W_T$ , то він вважається

непридатним.

Визначення допусків на параметри якості, що повністю характеризують область працездатності, є складним завданням, при вирішенні якої необхідно враховувати цільові і економічні чинники. При цьому об'єкт контролю повинен розглядатися як елемент більш загальної по ієрархії системи. Слід підкреслити, що призначення оптимальних допусків на показники якості істотно залежить від умов застосування і експлуатації об'єкта контролю. Ухвалення припущень про ці умови дозволяє визначити допуски за критерієм мінімуму витрат. Звідси випливає, що при інших умовах застосування і експлуатації об'єкта контролю допуски на показники вже не будуть оптимальними.

За узагальнений показник якості системи приймемо ймовірність виконання поставленого завдання. Нехай заданий допуск знизу на цей показник, що розділяє область значень показника на області працездатності і непрацездатності:  $W \geq W_T$  - придатний,  $W < W_T$  - не придатний. Поставимо задачу визначити допуски на параметри, що забезпечують виконання умови «придатний». Рішення такого завдання необхідно як для проектування системи, так і для вирішення завдань контролю. В даний час в переважній більшості випадків прийняття рішення про придатність системи виконувати свої функції здійснюється в процесі контролю шляхом порівняння вимірних значень параметрів допусками. Очевидно, що правильне призначення допусків на параметри грає при даній схемі оцінки технічного стану велику роль.

Залежність показника якості від параметрів є, в загальному випадку, нелінійну функцію багатьох змінних. Кожній допустимій області значень показника якості відповідає допустима область значень параметрів. Ця остання може мати досить складну конфігурацію. Знаходження допусків на параметри по заданому допуску на показник якості полягає у визначенні гіперповерхні, що обмежує область допустимих значень параметрів.

Побудова області допустимих значень параметрів не дозволяє призначити допуск на кожен параметр окремо. Всі параметри виявляються пов'язаними між собою. Допуск на кожен параметр окремо можна визначити тільки в окремому

випадку, коли область допустимих значень параметрів є гіперпаралелепіед з гранями, паралельними осям координат параметрів.

Для вирішення ряду практичних завдань, пов'язаних з виробництвом і контролем, доцільно призначення допусків на кожен параметр окремо.

Нижче викладається принцип визначення допусків на параметри, заснований на гіпотезі існування екстремуму показника якості. Правильно обраний показник якості завжди має екстремальної точкою в просторі параметрів. Ця обставина і дозволяє отримати однозначне рішення задачі про допуски на параметри при заданому допуску на показник якості.

Розглянемо геометричну трактування завдання про допуски на параметри. Показник якості при фіксованому режимі роботи системи є функцією параметрів. Цю функцію можна розглядати як гіперповерхність в просторі параметрів. Характерною особливістю цієї гіперповерхні є наявність екстремальної точки. Встановлення допуску на показник якості з геометричної точки зору означає завдання гіперплощини, паралельної гіперплощини параметрів. Перетин гіперповерхні  $W(U)$  гіперплощиною  $WT = \text{const}$  дає замкнуту поверхню, яка визначається рівнянням

$$WT = W(V) \quad (1)$$

Завдання обчислення допусків на параметри може в цьому випадку трактуватися як побудова описаного до гіперповерхні (1) паралелепіеда з площинами, паралельними осям координат параметрів. Перетин граней описаного гіперпаралелепіеда з осями координат параметрів і дає допуски на параметри.

Між замкнутої гіперповерхні (1) і описаним гіперпаралелепіед є певні області. Попадання значень параметрів в ці області хоча і задовольняють обраним допусками (значення параметрів леЗАТЬ всередині гіперпаралелепіеда), але не задовольняють умові  $W \geq WT$  (значення параметрів леЗАТЬ поза гіперповерхні (1)). Отже, зазначені області утворюють «дефект» в

допуски на параметри, що визначає ризик замовника. Ризик виробника за рахунок даного чинника дорівнює нулю.

У зв'язку з цим, можна побудувати не описаним гіперпаралелепіпед, а вписаний. При цьому ризик замовника від даного чинника дорівнюватиме нулю, а ризик виробника максимальний.

## 2.4. Двопараметрична модель

Для наочного уявлення про метод визначення допусків на параметри на основі побудови описаного паралелепіпеда з гранями, паралельними осям координат, розглянемо на початку найпростіший випадок наявності тільки двох параметрів. Використовуємо наступну апроксимацію:

$$W = W_0 + \sum_{i=1}^2 B_i V_i + \sum_{i,j=1}^2 C_{ij} V_i V_j \quad (1)$$

Нехай необхідне значення показника якості одно  $W_T$ . Прирівнюючи  $W = W_T$ , отримуємо функцію двох параметрів, яку запишемо у вигляді

$$F(V_1, V_2) = W_0 - W_T + \sum_{i=1}^2 B_i V_i + \sum_{i,j=1}^2 C_{ij} V_i V_j = 0 \quad (2)$$

Правильно обраний показник якості має екстремальне значення в просторі параметрів. Це означає, що співвідношення (1) є рівняння еліптичного параболоїда. Перетин еліптичного параболоїда площиною, паралельній площині параметрів, дає еліпс, рівняння якого представлено співвідношенням (2). Даний еліпс можна назвати еліпсом якості, оскільки знаходження параметрів всередині цього еліпса забезпечує якість роботи системи не гірше заданого.

Розглядаючи параметр  $V_1$  як функцію параметра  $V_2$ , знайдемо похідну з

$dV_1 / dV_2$  і прирівнюємо її до нуля. Ця похідна дорівнює

$$\frac{dV_1}{dV_2} = - \frac{\frac{\partial F}{\partial V_2}}{\frac{\partial F}{\partial V_1}} \quad (3)$$

Диференціюючи співвідношення (2), враховуючи, що знаменник в рівняння (3) не звертається в нескінченність, і прирівнюючи похідну нулю, отримуємо рівняння прямої, що проходить через точки екстремумів (рисунок 2.8., правий)

$$B_1 + 2C_{12}V_1 + 2C_{22}V_2 = 0 \quad (4)$$

де прийнято, що  $C_{12} = C_{21}$ . Звідси знаходимо  $V_2$  і підставляємо в рівняння (2)

$$V_2 = -\frac{1}{2C_{22}}(B_2 + 2C_{12}V_1) \quad (5)$$

Після підстановки отримуємо квадратне рівняння щодо ординат точок екстремумів на площині параметрів

$$\gamma_{12}\Delta_1^2 + \gamma_{11}\Delta_1 + \gamma_{10} = 0 \quad (6)$$

Вирішуючи це рівняння, отримуємо допуски на параметр V1

$$\Delta_1^{(1,2)} = \frac{-\gamma_{11} \pm \sqrt{\gamma_{11}^2 - 4\gamma_{12}\gamma_{10}}}{2\gamma_{12}} \quad (7)$$

де

$$\gamma_{12} = C_{11} - \frac{C_{12}^2}{C_{22}}; \quad \gamma_{11} = B_1 - B_2 \frac{C_{12}}{C_{22}}; \quad \gamma_{10} = W_0 - W_T - \frac{B_2^2}{4C_{22}} \quad (8)$$

Для визначення допусків на параметр V2 необхідно продифференціювати вираз (2) приватно по Vx, прирівняти похідну нулю, знайти з даного рівняння параметр V2 і підставити в співвідношення (2). В результаті буде отримано квадратне рівняння щодо допусків на параметр V2, вирішуючи яке, отримуємо

$$\Delta_2^{(1,2)} = \frac{-\gamma_{21} \pm \sqrt{\gamma_{21}^2 - 4\gamma_{22}\gamma_{20}}}{2\gamma_{22}} \quad (9)$$

де

$$\gamma_{22} = C_{22} - \frac{C_{12}^2}{C_{11}}; \quad \gamma_{21} = B_2 - B_1 \frac{C_{12}}{C_{11}}; \quad \gamma_{20} = W_0 - W_T - \frac{B_1^2}{4C_{11}} \quad (10)$$

Аналізуючи результати вирішення, приходимо до висновку, що алгоритм визначення допусків включає операції рішення лінійних алгебраїчних рівнянь і рішення квадратних рівнянь. Співвідношення (7), (9) визначають рівняння описаного прямокутника, представлено на малюнку 3.1 (лівий). На цьому малюнку область дефекту допусків заштрихована. На малюнку 2.3 показана просторова схема визначення допусків.

Рис.2.9. - Просторова схема визначення допусків.

Фізична однорідність контрольованих параметрів призводить до думки про розробку безеталонного методу контролю.

## 2.5. Огляд існуючих методів контролю

Під контролем розуміється процес встановлення відповідності між станом об'єкта контролю і заданими нормами. В результаті контролю видається судження про те, до якої з нормованих якісно розрізняються областей відноситься розглядається стан контролю.

Контроль може бути здійснений всюди, де є встановлені норми. В основному розглядається контроль, при якому опису норм задані в кількісному вигляді за допомогою аналогових і цифрових уставок, а результатом контролю є кількісно певне судження про стан об'єкта контролю. Такий контроль називається технічним контролем.

Операції контролю можуть виконуватися як за участю людини, так і без його участі, тобто автоматично. Рівень автоматизації пристроїв контролю може бути визначений приблизно ставленням обсягу операцій, що виконуються ручним способом, до загального обсягу операцій контролю.

Внаслідок наявності ставок і визначаються ними зон допуску контрольованих величин такий контроль називають допускового.

Виділяють кілька методів контролю. Розглянемо більш детально деякі з них.

### 2.5.1. Організація статистичного контролю

Основна мета статистичного контролю пов'язана з отриманням статистичних даних, необхідних для аналізу ходу технологічного процесу або придатності готової продукції і для прийняття відповідних рішень. Якщо задані допуски придатності продукції і частки придатних і непридатних виробів, то поточний статистичний контроль дозволяє стежити за ходом технологічного процесу.

Статистична обробка експериментальних даних виконується за допомогою випускаються промисловістю статистичних аналізаторів і виконується обов'язково в системах контролю, що містять універсальні програмовані обчислювальні пристрої.

### 2.5.2. Системи контролю паралельної дії

Системи контролю паралельної дії, або багатоканальні системи контролю, складаються з паралельно (одночасно) працюючих каналів контролю (рисунок 2.9.). Кожен канал контролю в таких системах працює незалежно від інших каналів і виконує функції допускового контролю однієї контрольованої величини.

Сучасні системи контролю паралельної дії вельми часто дозволяють видавати одночасно з результатами контролю вимірювальну інформацію як в аналоговому (рисунок 2.9.), так і в цифровому (рисунок 2.10.) видах, а також сигнали, необхідні для формування впливу на об'єкт контролю.

Багатоканальні системи контролю широко використовуються при управлінні технологічними процесами в багатьох галузях промисловості, при експлуатації динамічних об'єктів і т.п.



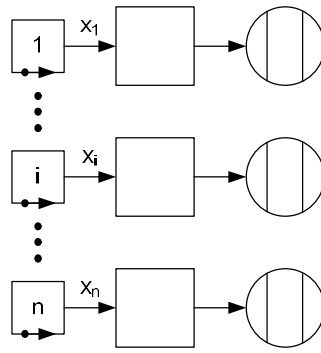


Рис. 2.9. - Структурна схема багатоканальної системи контролю.

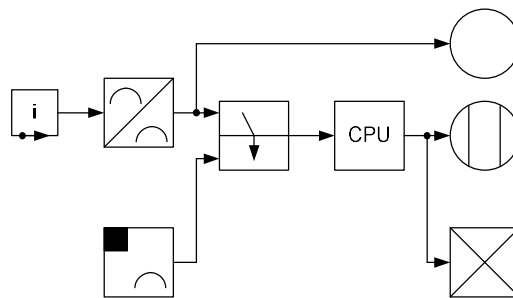


Рис.2.10 - Аналоговий канал контролю з видачею результатів контролю, вимірювання і сигналів управління.

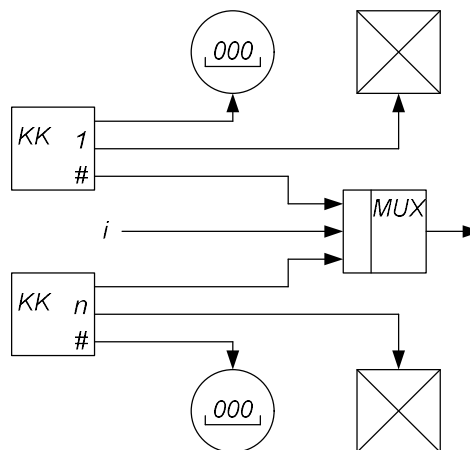


Рис.2.11. - Цифрова система контролю паралельної дії з послідовним висновком результатів контролю і виміру.

Вони можуть виявитися економічно більш вигідними при відносно невеликій кількості контрольованих величин, особливо якщо ці величини різноманітні по фізичній природі.

### 2.5.3. Системи контролю послідовної дії

У системах контролю послідовного дії (скануючих системах) контролюється стан величини, розподіленої в одно-, дво- або тривимірному просторі. Крім того, в цій ситуації можуть контролюватися функції від вхідної величини. Норми можуть бути загальними для всіх параметрів або для декількох параметрів, а також індивідуальними для кожного значення вхідної величини. При індивідуальному завданні норми повинні супроводжуватися вказівкою відповідних координат точок. Якщо для завдання контрольованої величини досить вказати дві координати і якщо в системі використовується цифровий канал контролю з послідовним порівнянням контрольованої величини з уставками, то алгоритм скануючої системи можна представити таким чином:

$$\Phi[(l_{1k}, l_{2k}) := (l_{1m}, l_{2m})] I(x_k) < I(DX, DC) > I[S : x_k \in (N | \bar{N})] \omega(k = K) \dots$$

Крім дискретного контролю в скануючих системах контролю може бути реалізований безперервний контролю, при якому скануючий рух датчика дозволяє визначити місця, де контрольована величина виходить за межі встановленої норми, а потім вимірюються координати цієї контрольованої величин.

Приватним типом систем контролю послідовного дії є скануючі системи для контролю геометричної форми і розмірів різноманітних об'єктів. Контрольованими величинами в цьому випадку є геометричні розміри об'єкта контролю в заданих напрямках. Описи меж норми при цьому можуть бути задані у вигляді зон допустимих значень табличним способом або зразкового предмета, а також ліній допустимих відхилень від його розмірів.

На малюнку 4.4 представлена структурна схема цифрової системи контролю, в якій для вимірювання використовується времяімпульсний метод вимірювання  $\langle I(x/z) \rangle$ , описуваний алгоритмом:

$$I(x/x^*) [I(x^*/t) \parallel I(N(t))] \omega(x^* \equiv t) I(z^*)$$

де  $N(t)$  - число імпульсів, що надійшла за час  $t$ .

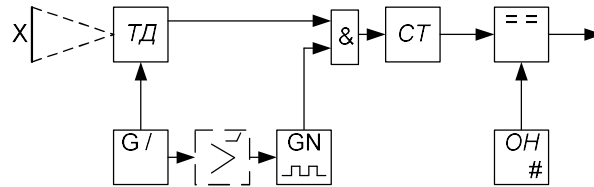


Рис 2.12. - Структурна схема цифрової скануючої системи контролю.

Вимірювання відхилення контрольованого розміру від номінального його значення може різко підвищити точність вимірювання, особливо при великих відносинах номінального значення до відхилення від нього. У деяких випадках виділення відхилення досягається при використанні відповідних оптичних перетворень.

Виділяють два режими роботи системи:

1) Режим допускового контролю і виміру. У системах контролю із загальною зразковою величиною кожна з вимірювальних ланцюгів пов'язана зі своїм каналом контролю, а за допомогою загальної зразкової величини можуть бути задані уставки або сформована компенсаційна величина, необхідна для вимірювання контрольованих величин.

При вимірі контрольованих величин система працює за алгоритмом мультиплексованої вимірювальної системи. У даній системі виконання операцій порівняння при контролі і вимірі може проводитися пристроями порівняння каналів контролю. З причини одночасної, паралельної роботи всіх каналів результати контролю можуть бути отримані за один такт, а вимірювання - за число тактів, рівне заданій кількості поділок шкали.

Систему можна істотно спростити, якщо залишити по одному пристрою порівняння в кожному каналі і використовувати режим послідовного порівняння контрольованих величин з уставками.

У деяких випадках, наприклад при наближенні контрольованих величин

до небезпечної зони, корисно змінювати зразкову величину трохи ширше заданої зони, для того щоб виявити контрольовані величини, які знаходяться поблизу від кордонів зони. При необхідності можна підрахувати кількість контрольованих величин, які увійшли за своїми розмірами в досліджувану зону.

2) Режимі спорадического контролю (рисунок 2.13.). У більшості систем контролю оператор має можливість спостерігати одночасно за станом контрольованих величин за результатами допускового контролю, що відображаються на панелі сигналізації, мнемосхемі або на екрані дисплея. Однак таке уявлення про стан контрольованих величин недостатньо для того, щоб судити про ступінь їх близькості до цікавого оператора станом. Для прогнозування подальшого стану об'єкта ІМЛІ прийняття рішення по управлінню оператор змушений використовувати результати вимірювань, зазвичай виконуваних періодично, за викликом або при відхиленні величин від нормального стану. Незважаючи на заходи, що застосовуються в системі контролю для полегшення огляду результатів вимірювання,

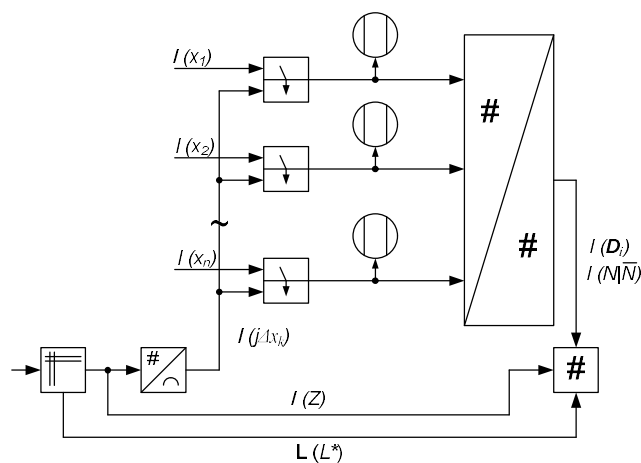


Рис.2.13. - Структурна схема системи контролю.

На відміну від інших контрольно-вимірювальних систем з незмінюються в процесі контролю уставками в режимі спорадического контролю оцінку розміру всіх контрольованих величин пропонується проводити одночасно, змінюючи єдину компенсуючу величину, уставку або запитуюча вплив. Ця зміна компенсує величини оператор виробляє на свій розсуд, від випадку до

випадку, - спорадично, одинично.

Аналіз роботи людини-оператора показав, що при спорадическом поданні інформації в 2-5 разів зменшується час оцінки ситуації і в кілька разів - число помилок в порівнянні з традиційним уявленням інформації на цифрових індикаторах.

Паралельно-последовні алгоритми допускового контролю можуть бути реалізовані, по-перше, в системах контролю, що створюються споживачами для конкретних цілей з відповідних функціональних блоків і пристроїв їх сполучення (локальні системи контролю - ЛСК), і, по-друге, в універсальних системах з випускаються промисловістю функціональних блоків (керуючі обчислювальні машини - КОМ і комплекси - НВК).

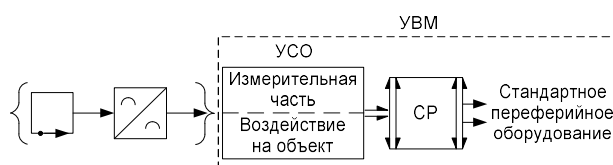


Рис.2.14 - Структурна схема КОМ.

З'єднання функціональних блоків в ЛСК може бути здійснено за допомогою стандартних цифрових інтерфейсів, а функції каналу контролю і управління системою можуть виконуватися за допомогою спеціалізованих пристроїв, мікропроцесорних наборів або ЕОМ.

Під КОМ розуміється закінчена цільна частина системи, а під комплексом - та ж частина системи, отримана з'єднанням окремих функціональних блоків, склад якої може бути при необхідності змінений або доповнений.

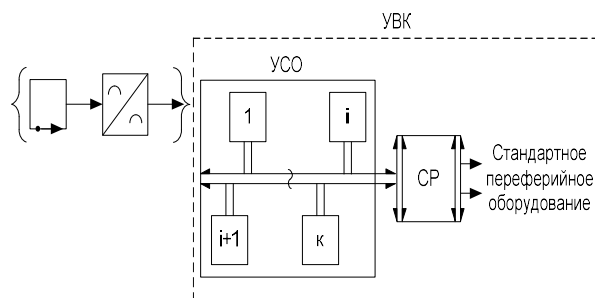


Рис.2.15. - Структурна схема УВК.

Аналіз традиційних методів контролю дозволяє обґрунтувати вибір наступних режимів контролю:

а. спорадичний - інформація про стан об'єкта передається в разі рівності або перевищенні контрольованим параметром допускової зони, таким чином, даний підхід виключає інформаційну надмірність, тому що передається тільки семантична інформація.

б. циклічний - почерговий опитування об'єктів контролю з метою оцінки стану системи (локомотив) в цілому, ініціюється таймером центрально-диспетчерського пункту.

Описувані методи контролю засновані на порівнянні контрольованої величини з еталоном. Така процедура призведе до появи систематичних помилок, в зв'язку з цим в роботі пропонується використовувати безеталонного метод контролю, коли контрольовані параметри фізично однорідні і дозволяють порівнювати їх між собою з метою діагностики параметра, що має найбільш екстремальне значення.

Сигнали ТРЛ характеризуються середньквдратическим значенням. СКЗ визначається як площа під кривою сигналу, усереднена на інтервалі часу  $t$ . При  $t = T$  виходить справжнє СКЗ. Якщо сигнал періодичний, то середня площа кожного періоду - величина постійна і дорівнює середній площі будь-якого числа періодів, тобто для періодичних сигналів справжнє СКЗ може бути отримано при  $t = kT$ , інакше отримане значення буде відрізнятися від справжнього - з'явиться похибка.

Використовуючи розроблений метод розрахунку інтервалу вимірювання за заданою величиною похибки встановлено, що для сигналу 50 Гц погрішність при інтервалі вимірювання 35 мс складе не менше 5%, при 165 мс - 1%, реалізація точності 0,2% потребують часу вимірювання не менше 0,8 с.

Вперше запропоновано математичну модель сигналів ТРЛ, в основу якої покладено вираз для опису однотональний амплітудно модульованого сигналу з коефіцієнтом модуляції більше одиниці. З її допомогою встановлена

залежність похибки вимірювання від форми сигналу ТРЛ. На основі моделі розроблені методи забезпечення порівнянності результатів вимірювань і для всіх можливих комбінацій сигналів ТРЛ визначені інтервали вимірювання, при яких забезпечується відсутність похибки, пов'язаної з формою сигналу.

Застосування розробленого методу розрахунку інтервалу вимірювання дозволило встановити, що мінімальним значенням інтервалу вимірювання при якому форма сигналу ТРЛ не впливає на показання приладу є 0,25 с. Забезпечення інтервалу вимірювання кратного 0,25 секунди дозволить забезпечити порівнянність результатів вимірювань сигналів ТРЛ.

Для оцінки впливу дискретизації на результат вимірювання СКЗ необхідно порівняти площа сигналу з площею його дискретного представлення. Оцінка впливу дискретизації показала, що якщо на період сигналу доводиться рівно два відліку, то похибка становить від 27% до 41% і не зменшується з збільшенням відстані вимірювання. При частоті дискретизації в 4 рази перевищує частоту сигналу можлива похибка не перевищить 0,9% для інтервалу вимірювання більше 5 періодів сигналу. Існує можливість виконувати точні вимірювання СКЗ, навіть якщо на період сигналу доводиться менше двох відліків

### 3. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ДІАГНОСТИКА ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ ЛАНЦЮГІВ

#### 3.1. Дослідження засобів вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів

Існує велика кількість приладів, що дозволяють вимірювати СКЗ струмів і напруг синусоїдальних сигналів, але далеко не всі з них можуть застосовуватися для вимірювань СКЗ сигналів ТРЛ. Навіть спеціалізовані для вимірювань сигналів ТРЛ прилади мають низьку сумісність результатів. Тому потрібні методи оцінки застосовності приладів для вимірювань сигналів ТРЛ. Щоб оцінити вплив форми сигналу на результат вимірювань потрібно знати інтервал вимірювань приладу.

Щоб зрозуміти чи правильно ми вимірюємо сигнали ТРЛ при існуючій технології обслуговування пристроїв ЗАТ потрібно знати, який час вимірювання у тих приладів, якими ми користуємося. Причому очевидно, що час оновлення інформації на екрані цифрового приладу (рисунок 3.1) відрізняється від дійсного часу вимірювання.

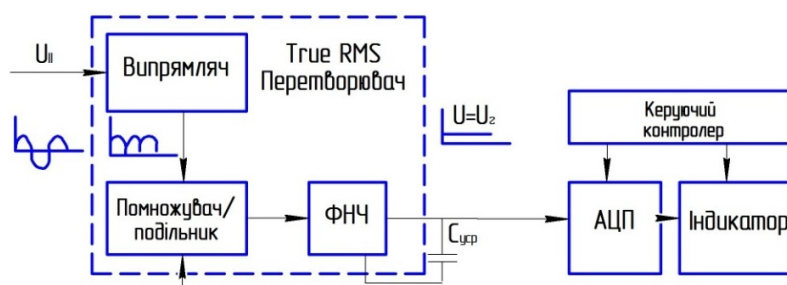


Рис.3.1. Прилад на основі True-RMS перетворювача

Найбільш поширені в даний час прилади використовують Тгі- еЯМБ перетворювачі для вимірювання СКЗ, при цьому час вимірювання визначається усереднюються ємністю підключеної До фільтру СУСР. Для вимірювань



сигналів ТРЛ ємність СУСР повинна мати досить велику величину, що досягається застосуванням електролітичних конденсаторів, параметри яких мають не високу точність і можуть істотно змінюватися з плином часу.

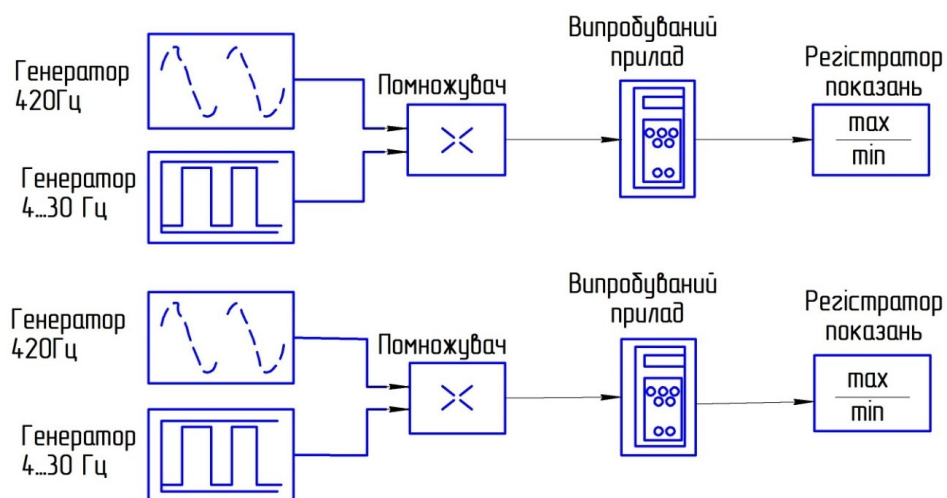


Рис 3.2 - Метод дослідження засобів вимірювальної техніки

Якщо в інтервал вимірювання приладу поміщається ціле число періодів маніпульованого сигналу, то розкид показань буде дорівнює нулю (рисунок 3.3). Точність інтервалу вимірювання приладу буде визначатися кроком зміни частоти маніпуляції

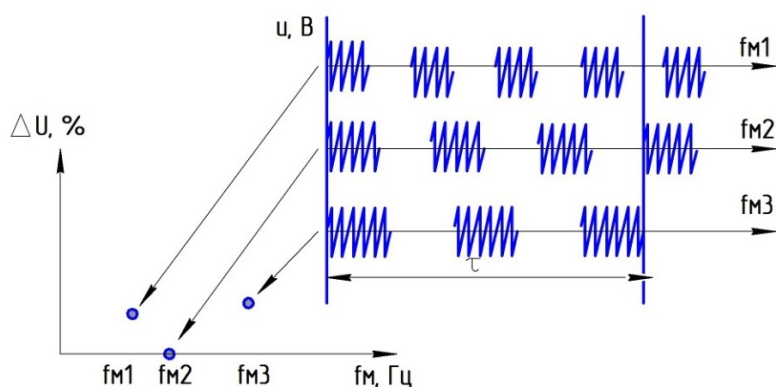


Рис. 3.3 - Визначення інтервалу вимірювання приладу

Форма випробувальних сигналів відрізняється від реальних сигналів ТРЛ, однак для перевірки вимірювачів СКЗ сигналів ТРЛ застосовуються сигнали саме

такої форми [17].

Розглянутий метод пропонується додати в методики повірки (калібрування) приладів, призначених для вимірювань сигналів тональних рейкових кіл для більш об'єктивної оцінки приладу і забезпечення єдності методик повірки (калібрування).

При випробуваннях став популярним в нашій країні мультиметра Fluke 867В отримані наступні результати (рисунок 3.4): при частоті маніпуляції 10, 15 і 20 Гц погрішність вимірів прагне до мінімуму звідки можна зробити висновок, по-перше, що інтервал вимірювання 0,2 с, у друге, що даний прилад категорично не підходить для вимірювань сигналів ТРЛ (при частотах маніпуляції вхідного сигналу 8 і 12 Гц погрішність вимірювань буде не менше 20% і 2% відповідно). Для тональних рейкових кіл потрібні спеціальні прилади.

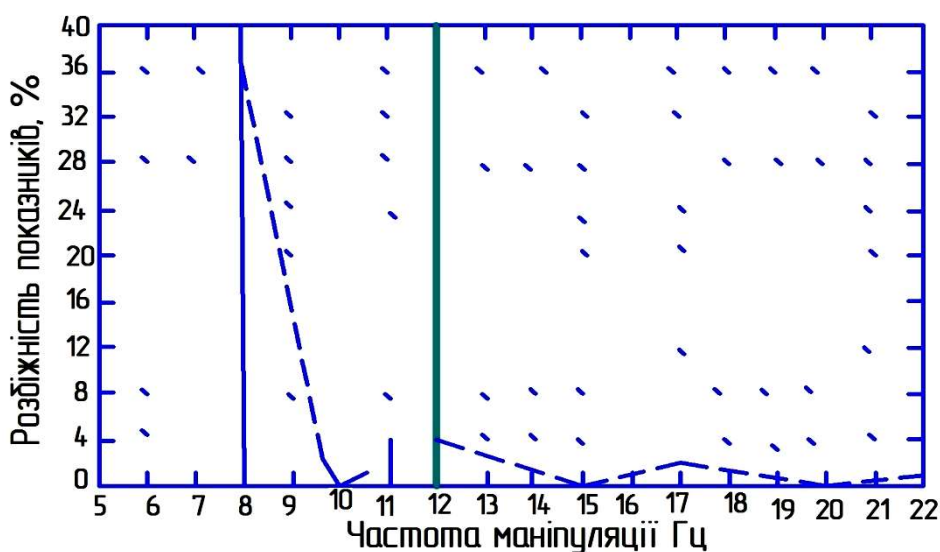


Рис.3.4. Характеристики інтервалу вимірювань Fluke 867В

Розглянемо популярний серед електромеханіків прилад В7-63 Результати експериментів в неселективних режимі (рисунок 3.5) показують, що він істотно краще, ніж Fluke 867В, підходить для вимірювань в ТРЛ Додаткова похибка вимірювання, пов'язана з невдалим вибором тривалості вимірювання СКЗ не перевищить 2,5% .

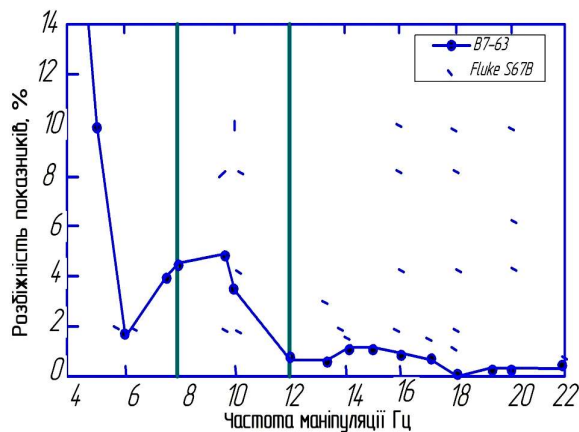


Рис.3.5. Характеристики інтервалів вимірювань Fluke 867B і B7-63

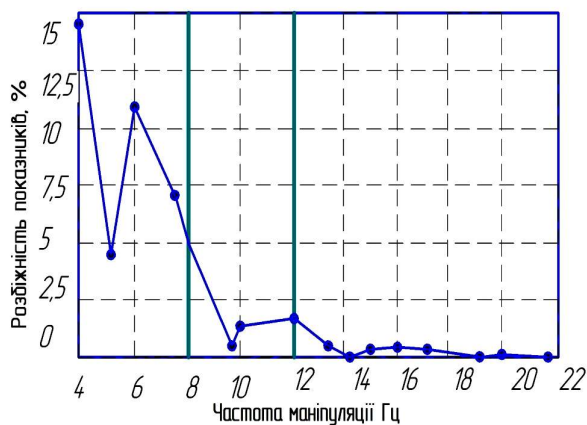


Рис.3.6. Характеристики інтервалу вимірювань B7-63/1

У модифікації приладу B7-63 / 1 розкид показань (рисунок 3.6) залишився приблизно таким же, а при частоті маніпуляції 12 Гц навіть збільшився. Знята характеристика відрізняється, що говорить про зміну інтервалу вимірювання, однак для 12 Гц результати навіть погіршилися. Це показує, що виробники рекомендованих для сигналів ТРЛ засобів вимірювання не враховують розглянутих ефектів.

Однак треба розуміти, що була розглянута тільки одна складова похибки вимірювань - додаткова похибка, пов'язана з неправильним вибором тривалості вимірювання сигналу. Для визначення кінцевої точності вимірювань необхідно також враховувати вплив елементів вимірювальних каналів (перетворювачів, АЦП), вплив точності калібрування, перешкод у вимірюваному сигналі,

вхідного опору приладу і ін. Чинників. Тому для 8 Гц прилад В7-63 може забезпечити точність не краще  $\pm 5\%$ , в тому числі  $\pm 2,5\%$  основна похибка по паспорту приладу, плюс  $\pm 2,5\%$  похибка вимірювання маніпульованих сигналів. В той же час можна без праці підвищити точність вимірювань маніпульованих сигналів в розглянутих приладах. Наприклад, в випробуваному реалізації приладу В7-63 (рисунок 3.5) похибка прагне до мінімуму на частотах 6 Гц, 12 Гц, 18 Гц. Це означає, що інтервал вимірювання СКЗ відповідає 0,17 с. Це кратно періоду 12 Гц, але не кратно періоду 8 Гц. Збільшуючи ємність конденсатора СУСР (рисунок 3.1) можна збільшити інтервал вимірювання СКЗ так, щоб він став кратним періоду всіх цікавлять нас сигналів, в результаті чого точність вимірювання зросте в 2 рази.

Облік фізичних властивостей сигналу і вимірювача при проектуванні приладу або вимірювальної системи дозволяє виключити вплив розглянутих процесів на точність вимірювання з мінімальними затратами.

### **3.2. Оцінка впливу форми сигналу на вимірювання значень**

Одним із напрямів удосконалення ТРЛ є застосування, замість амплітудної, частотної маніпуляції сигналів. Оцінка впливу форми частотно-маніпульованого (ЧМН) сигналу на результат вимірювань дозволить відповісти на питання про необхідність застосування спеціалізованих приладів і принципів для технічного обслуговування рейкових кіл на основі таких сигналів.

Вибір амплітудної маніпуляції при розробці ТРЛ обумовлений простотою її технічної реалізації [9]. У зв'язку з погіршенням, в даний час, електромагнітної обстановки потрібно підвищити перешкодозахищеність ТРЛ, що можливо зробити при заміні маніпуляції з амплітудною на частотну. Сучасна елементна база і методи цифрової обробки сигналів дозволяють це зробити.

При частотній маніпуляції частота високочастотного коливання змінюється стрибком на деяку величину щодо несучої. Максимальне

відхилення частоти від несучої називається девіацією. Ставлення девіації до частоти маніпуляції називається індексом частотної маніпуляції. Розрізняють частотну маніпуляцію з розривом фази і без розриву фази. На практиці використовується маніпуляція без розриву фази через більш вузького спектра при однаковому індексі модуляції. Частотна маніпуляція докладно описана в [86-88].

Згідно виконаним теоретичних досліджень форма ЧМН сигналу повинна впливати на результат визначення СКЗ значно менше, ніж форма сигналу з амплітудною маніпуляцією. Ступінь впливу визначається періодом несучої частоти.

За результатами комп'ютерного моделювання для ЧМН сигналу встановлена залежність розкиду СКЗ від інтервалу вимірювання .

При однакових значеннях інтервалу вимірювання точність визначення СКЗ сигналів з частотною маніпуляцією значно вище, ніж у АМн сигналу (близько 100 разів), що дозволяє істотно знизити інтервал вимірювань.

Застосування ЧМН сигналів дозволить відмовитися від спеціалізованих приладів і використовувати прилади для вимірювання СКЗ сигналів промислової частоти 50 Гц. Прилад Fluke 867В, який абсолютно не підходить для вимірювання сигналів ТРЛ з амплітудною маніпуляцією, може вимірювати ЧМН сигнали з похибкою не більше похибки вимірювань 50 Гц сигналу.

### **3.3. Автоматизація діагностування та вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів**

Знизити людський фактор при обслуговуванні ТРЛ дозволяють системи технічної діагностики і моніторингу. Основою систем технічної діагностики є вимірювальні модулі. Модулі мають високу вартість через невелику серійності виробництва і вимагають періодичної повірки. Одним із шляхів зниження вартості СТДМ є зменшення кількості використовуваних модулів.

Завданням діагностування пристроїв ЗАТ є визначення та усунення їх

предотказних станів. Поняття предотказного стану вводиться в [15]. Під перед відмовним станом розуміється такий стан, коли хоча б один з параметрів об'єкта, що характеризують здатність виконувати задані функції, досягає граничного значення, визначеного нормативно-технічної та (або) конструкторської документації, при якому не може бути гарантована працездатність при подальшій зміні параметра.

Предотказное стан визначається при перевищенні порогового значення параметра на основі вимірів. Об'єкт в предотказном стані знаходиться на кордоні працездатності. Розширення кордону працездатності збільшує ймовірність запобігання відмови, але знижує ефективність роботи об'єкта.

Основною характеристикою сигналів ТРЛ є СКЗ. Системи діагностики і моніторингу за динамікою зміни СКЗ визначають стан ТРЛ. Низька точність вимірювань СКЗ передбачає розширення меж працездатності, що збільшує кількість помилково фіксуються предотказов. Якщо ширина області предотказних станів не сильно відрізняється від області можливої похибки вимірювань, то можна прийняти об'єкт, що знаходиться в непрацездатному стані, за працездатний об'єкт.

Для тональних рейкових кіл контролюються наступні параметри: напруга на обмотці колійного реле (1), напруга на вході колійного приймача (2), напруга на виході колійного генератора (3), напруга на виході колійного фільтра (4), напруги харчування колійного генератора (5а ) і колійного приймача (5б) (рисунок 3.7).

Вимірювання напруги на обмотках колійного реле в системах діагностики виконуються модулями, призначеними для вимірювань напруги постійного струму. Вимірювання напруги харчування виконуються модулями вимірювання тиску синусоїдальної форми. Для вимірювань на виході генератора, вихід фільтра і вході приймача застосовуються спеціалізовані модулі вимірювання сигналів складної форми.

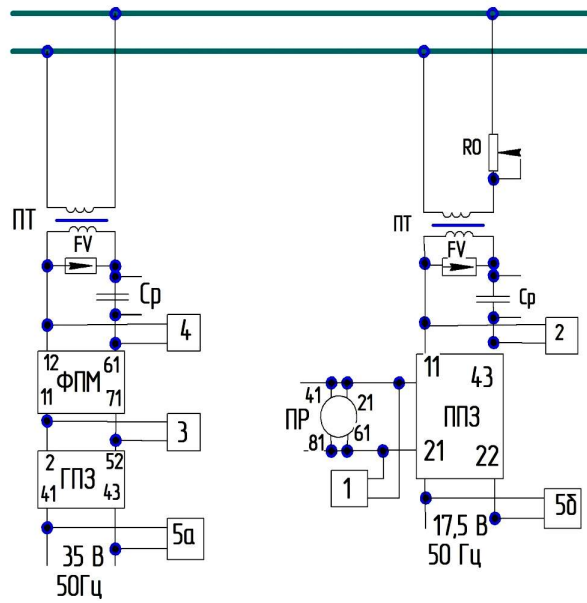


Рис.3.7. Схема підключення з точками вимірювань для перегінного ТРЛ

На кожний тональний рейковий ланцюг припадає не менше трьох точок вимірювання сигналів складної форми, тобто не менше трьох спеціалізованих вимірювальних каналів. Вимірювальні канали вимагають періодичного калібрування, а калібрування спеціалізованих каналів має на увазі застосування більш складних засобів і технологій в порівнянні з калібруванням вимірювальних каналів для вимірювання постійної напруги і напруги синусоїдальної форми.

Для зменшення вартості будівництва і обслуговування систем технічної діагностики і моніторингу дуже важливо скоротити кількість використовуваних спеціалізованих вимірювальних каналів. Скоротити кількість вимірювальних каналів дозволяє метод комутованих вимірювань [90, 91], суть якого полягає в послідовному підключенні вимірювального модуля до різних точок рейкового кола. Вимірювання сигналів ТРЛ вимагає інтервалу вимірювання великої тривалості. Тому використання методу комутованих вимірювань підвищує вимоги до швидкодії вимірювальних каналів.

Для задач діагностики потрібно найповніше відображення технологічних процесів. Тому швидкодію засобів вимірювань є дуже важливою

характеристикою для систем діагностики і моніторингу, що дозволяє підвищити деталізацію фіксації подій при занятті і звільнення рейкового кола. Швидкодію засобів вимірювань повинно дозволяти визначати не тільки вільність і зайнятість рейкового кола, а й давати можливість аналізувати процеси, що відбуваються при зміні стану ТРЛ (звільнення або заняття рейкового кола).

Для отримання діагностичної інформації про процеси при занятті і звільнення рейкового кола слід збільшити періодичність оцінки сигналів (зменшити час між оцінками сигналу), що призводить до зростання первинних (необроблених) даних вимірювань. Передача повного масиву даних вимірювань на верхній рівень системи моніторингу істотно підвищує вимоги до пропускну здатності і швидкості обробки даних.

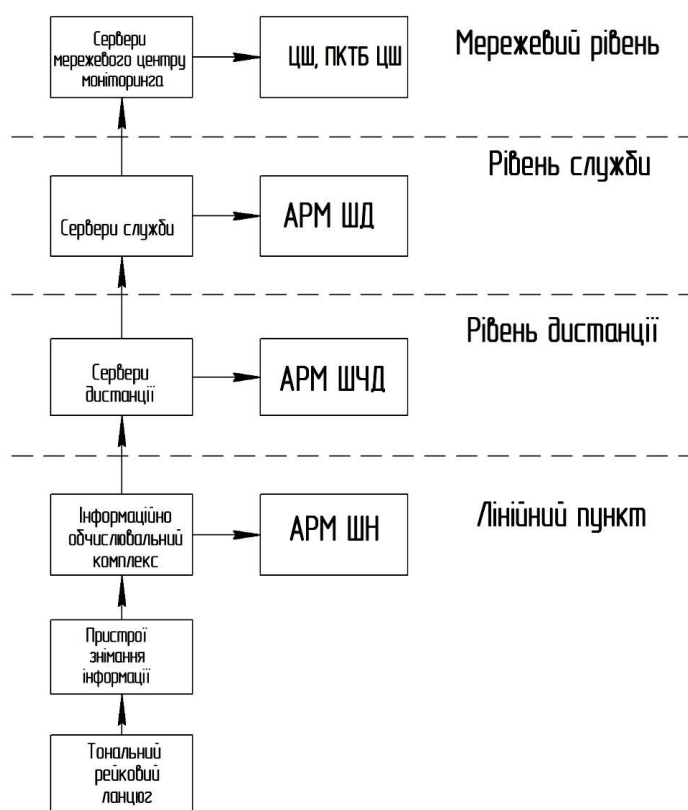


Рис.3.8. Структурна схема системи діагностики та моніторингу

Розглянемо структурну схему передачі інформації про стан ТРЛ в системі діагностики і моніторингу, яка представлена на рис. 3.8.



Сигнали в контрольних точках ТРЛ вимірюються пристроями знімання інформації. Збір з пристроїв знімання, первинну обробку та передачу на сервери дистанції інформації про стан ТРЛ, а так само її передачу для відображення на автоматизованому робочому місці електромеханіка (АРМ ШН) виконує інформаційно-обчислювальний комплекс лінійного пункту.

На рівні дистанції з діагностичною інформацією про стан ТРЛ, яка відображається на АРМ ШЧД, працює інженер-технолог по діагностиці та моніторингу (диспетчер) дистанції. На цьому рівні кількість інформації зростає в таку кількість разів, яке дорівнює числу лінійних пунктів. У дистанції.

На рівні дороги з діагностичною інформацією працює інженер-технолог по діагностиці та моніторингу служби автоматики і телемеханіки за допомогою автоматизованого робочого місця АРМ ШД.

З усіх доріг інформація потрапляє на сервери мережевого центру діагностики і моніторингу. Доступ до цієї інформації можна отримати через мережу передачі даних «УЗ».

Модель системи на малюнку 2.8. є ієрархічною. На рівні дистанцій концентрується інформація з усіх лінійних пунктів, на рівні служб інформація збирається з усіх дистанцій, а на мережевому рівні - інформація з усієї мережі доріг. На кожному рівні кількість інформації зростає в кілька разів. Тому обробку результатів вимірювань слід виконувати на нижніх рівнях, передаючи на верхні рівні тільки найбільш значущі результати.

Звільнення обчислювальних ресурсів під первинну обробку інформації на нижньому рівні (лінійний пункт) можливо за рахунок зменшення частоти дискретизації при вимірах. Підвищення швидкодії за рахунок зменшення інтервалу вимірювання також дозволить вивільнити обчислювальні ресурси (між виконанням вимірювань залишиться більше часу під обробку інформації про вимірювання).

Між тональним рейковим ланцюгом і пристроями знімання інформації (засобами вимірювань сигналів) рекомендується зменшити шлях проходження сигналу і подбати про заходи захисту вимірювальної інформації від впливу

перешкод шляхом застосування екранування. На практиці для дослідження сигналів ТРЛ крім СКЗ використовується спектральний аналіз. Енергія сигналу у часовій частотній областях однакова. Тому вплив форми сигналу при неправильному виборі інтервалу вимірювання (аналізу) буде проявлятися для всіх цих оцінок.

### **3.4. Модернізація пристрою вимірювань сигналів тональних рейкових ланцюгів**

#### **3.4.1. Призначення, технічні характеристики і структура модуля УНС-4ІА**

Пристрій нормування сигналу УНС-4ІА призначене для вимірювання діючих значень напруги змінного і постійного струму і діючого значення струму витоку через ізоляцію і передачі результатів вимірювань за стандартним послідовному інтерфейсу 13.8-485 в систему збору та обробки даних.

Область застосування - вимір і цифрова обробка напруги і струму (від однофазних і трифазних джерел напруги) в системах збору та обробки даних, в тому числі на залізничному транспорті.

Пристрій нормування сигналу дозволяє здійснювати вимірювання наступних параметрів:

- рівень постійної складової сигналу;
- середньоквадратичне значення сигналу змінного струму;
- середньоквадратичне значення сигналу змінного струму частотою 25 (50) Гц;
- відхилення фази сигналу 25 (50) Гц від фази опорного сигналу;
- середньоквадратичне значення сигналів змінного струму тональних рейкових кіл ТРЛЗ частотою 420, 480, 580, 720 і 780 Гц;
- струм витоку через ізоляцію.

УНС-4ІА застосовується для вимірювання діючих значення напруги постійного і змінного струму в тунельних рейкових ланцюгах.

Управління модулем здійснюється за допомогою програмного забезпечення (ПО) по інтерфейсу 13.8-485. Передачею команди можна задавати частотний канал ТРЛ незалежно для кожного вимірювального входу.

Максимальна допустима амплітудне значення суміші сигналів на вході УНС-4ІА, що не приводить до помилки селективних вимірювань, 350 В.

Напруга живлення: постійне 10 - 30 В. Захист від змішування полюсів харчування.

Кількість гальванічно ізольованих каналів вимірювання - 4. Кожен канал здатний виробляти незалежні вимірювання параметрів сигналу.

Діапазон вимірювання напруги по входах сигналів при вимірюванні діючого значення змінного струму становить ОД - 250 В.

Вхідний опір сигнальних входів УНС-4ІА не менше 5,6 кОм. Вхідний опір по входу опорного напруги 209 кОм  $\pm$  10%.

Споживана потужність по кожному входу не більше 9 мВт. Максимальна споживана потужність не більше 2,1 Вт.

Гальванічна ізоляція між сигнальними входами і джерелом харчуванням не менше 2,5кВ.

Швидкість передачі даних по інтерфейсу 118-485 19200, 38400, 58600 або 115200 біт / сек. УНС-4ІА відповідає на запити ведучого пристрою (контролера). Дані йдуть безперервним потоком в режимі запит-відповідь. Пристрої передачі і прийому контролера повинні бути налаштоване на роботу з 8-ми бітними даними з двома стоп-бітами без контролю парності. Можна обмінюватись інформацією між контролером і УНС-4ІА на чотирьох швидкостях: 19200 біт / с, 38400 біт / с, 57600 біт / с і 115200 біт / с. Швидкість обміну вибирається шляхом установки спеціальних перемичок всередині УНС-4ІА.

Команда запиту результатів вимірювань має 2 допоміжних байта. За допомогою третього біта першого допоміжного байта виконується включення (при установці біта) і вимикання (при скиданні біта) режиму вимірювань опору ізоляції. При установці в одиницю бітів 1, 3, 5 або 7 другого допоміжного байта виконується автоматичне керування підсилювачами 1, 2, 3 і 4 каналів

відповідно. Скидання 1, 3, 5, або 7 бітів в нуль дозволяє включати або вимикати посилення в кожному каналі за допомогою бітів 0, 2, 4 і 6 відповідно для 1, 2, 3 і 4 канали.

### 3.5. Принцип дії і алгоритм роботи УНС-4ІА

Розглянемо принцип дії і апаратну структуру УНС-4ІА. Структурна схема УНС-4ІА представлена на рис. 3.9.

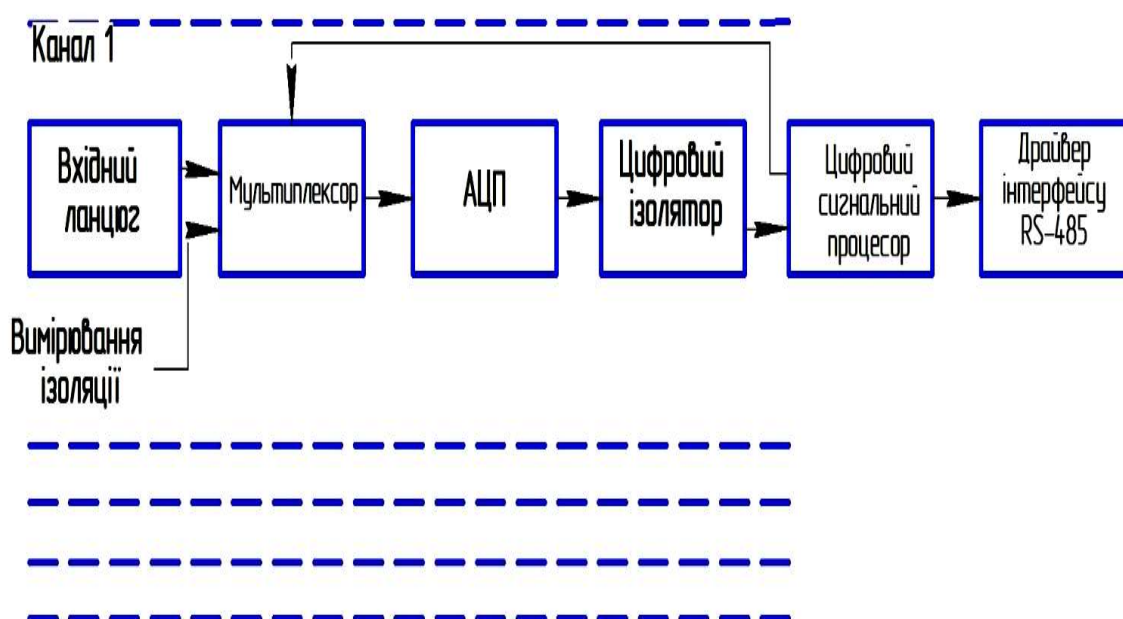


Рис.3.9. - Структурна схема УНС-4І

Сигнал надходить на вхідний ланцюг, яка забезпечує нормування рівня вхідного сигналу. Мультиплексор виконує перемикання між входами вимірювання напруги та ізоляції. 16-ти бітний АЦП перетворює сигнал в цифровий вигляд з частотою дискретизації 2 кГц.

Перетворений сигнал надходить в цифровий сигнальний процесор, який обчислює середньоквадратичне значення. Обчислення СКЗ виконується за вибіркою 3000 відліків. Таким чином, інтервал вимірювань становить 1,5 с.

Алгоритм визначення СКЗ в УНС-4ІА реалізований наступним чином (рисунок 3.10.).

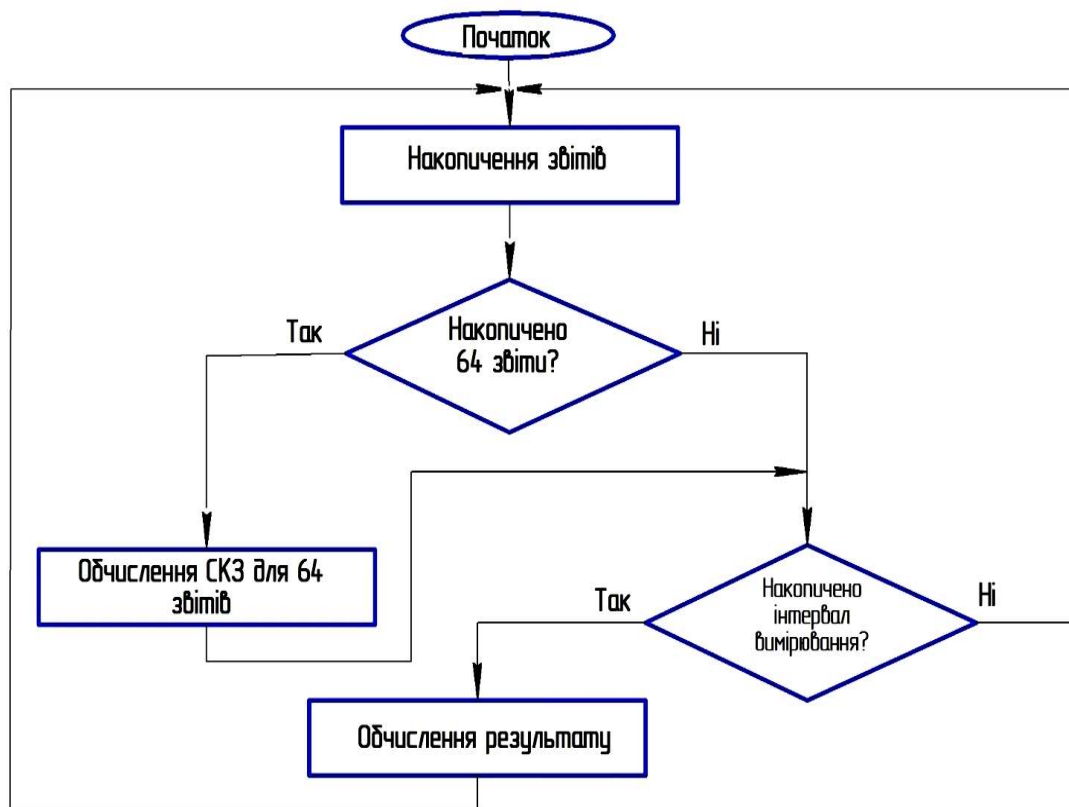


Рис.3.10. - Алгоритм обчислення СКЗ УНС-4ІА

Для вибірок по 64 відліку виконується зведення в квадрат, підсумовування, розподіл на 64 та обчислення квадратного кореня - визначається СКЗ. Якщо залишається вибірка, в якій менше 64 відліків, то для неї теж виконується розрахунок СКЗ, тільки поділ виконується не на 64, а на кількість відліків в цій вибірці. Отримані СКЗ вибірок зводяться в квадрат, підсумовуються, виконується розподіл на кількість вибірок і обчислюється квадратний корінь.

Величина 64 обрана для зручності поділу: для поділу числа на 64 слід зрушити число, записане в двійковій формі на 6 розрядів вліво. Обчислювати СКЗ по всій вибірці (3000 відліків) не можна. Результат операції зведення в квадрат представляє собою 32 бітове число. Акумулятор цифрового сигнального процесора має розрядність 40 біт, один з яких виділено для вказівки знака і один зарезервованій. Значить, для накопичення результату залишається 6 біт, що дозволяє накопичувати результат складання 64 відліків.

Даний алгоритм отриманий шляхом підбору параметрів вимірювача і не є оптимальним. Для апаратної структури УНС-4ІА, враховуючи отримані результати виконаних теоретичних досліджень, сформулюємо вимоги, що дозволяють вимірювати СКЗ для всіх комбінацій сигналів ТРЛЗ:

- інтервал вимірювань повинен включати ціле число періодів для обох частот модуляції;
- частота дискретизації повинна перевищувати найбільшу несучу частоту сигналів ТРЛ більш ніж в 2 рази;

Перша вимога забезпечує універсальність вимірювального пристрою для всіх комбінацій сигналів ТРЛ. Інтервалами вимірювань, в які поміщається ціле число періодів сигналу з частотами модуляції 8Гц і 12Гц одночасно, є: 0,25 с; 0,5 с; 0,75 с; 1 с; 1,25 с; 1,5 с; 1,75 с; 2 с; 2,25 с; 2,5 с; 2,75 с; 3 з і т.д. Мале значення інтервалу вимірювання забезпечує високу швидкодію вимірювача і високу чутливість до змін сигналу (наприклад, швидке визначення факту заняття рейкового кола). Великі інтервали знижують вплив випадкових факторів на результати вимірювань.

Друга вимога забезпечує зменшення похибки вимірювань СКЗ пов'язаних з дискретизацією. Встановлена в пристрої УНС-4І частота дискретизації задовольняє вимогу. Розглянемо випадок, коли для вимірювання СКЗ сигналів ТРЛ використовується частота дискретизації 2кГц. Для найгіршого випадку, коли несуча частота сигналу дорівнює 780 Гц, на її період припадає близько 2,56 відліку. Один імпульс сигналу ТРЛ з параметрами 780/12 містить 32,5 періоду частоти 780 Гц. Для значення інтервалу вимірювання 0,25 с при частоті дискретизації 2 кГц вийде вибірка з 500 відліків, для 0,5 с - з 1000, для 0,75 с - з 1500 і т.д. При накопиченні квадратів відліків для розрахунку СКЗ на наявній апаратній платформі переповнення акумулятора можливо вже при вибірці з 128 відліків. Розділити інтервал 0,25 с на частини так щоб в кожен частину містилося ціле число періодів частот і 8 і 12 Гц неможливо. Потрібно алгоритм розподілу інтервалу вимірювань на частини і обчислення по цих частинах СКЗ без внесення додаткових похибок.

Якби результати не мали кореляції, то можна було б обчислювати середнє арифметичне значення. Однак, СКЗ отримані по частинах залежать від початкової фази і тривалості інтервалу вимірювань. Інтервали вимірювань однакові, а початкова фаза повторюється з деяким періодом, пов'язаним з циклічним способом вимірювань і постійністю вимірювального інтервалу. Через це результати будуть містити не тільки випадкову складову похибки, а й систематичну позбутися якої шляхом арифметичного усереднення НЕ вдасться. В відмінну від арифметичного середнього, яке усереднює за кількістю результатів (за кількістю точок), середньоквадратичне усереднює по інтервалу. Тому для отримання остаточного результату слід квадратическі усереднити результати, отримані по частинах.

Визначимо СКЗ:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N u_i^2}{N}}.$$

Розділимо вибірку на K інтервалів

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^K \sum_{i=1}^{n_m} u_i^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^K \left( n_m \frac{\sum_{i=1}^{n_m} u_i^2}{n_m} \right)}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^K n_m U_m^2}{N}}.$$

Якщо довжини інтервалів рівні між собою ( $n_m = n$ ), то  $N = K \cdot n$  і тоді отримаємо формулу для визначення СКЗ по частинах:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^K U_m^2}{K}}.$$

Розглянемо випадок, коли довжина одного з інтервалів відрізняється від довжини всіх інших ( $n_m = K \cdot n + p$ ). У цьому випадку вираз набуде вигляду:

$$U = \sqrt{\frac{n_1 \sum_{m=1}^{K-1} U_m^2 + a n_1 U_m^2}{(K-1)n_1 + a n_1}} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{K-1} U_m^2 + a U_m^2}{K-1+a}} = \sqrt{\frac{(a+1) \sum_{m=1}^K U_m^2}{a-1+K}},$$

где  $a = n_1 / n_2$ .

З цього випливає, що всі інтервали, за якими розраховуються СКЗ частин, повинні бути рівні між собою і слідувати один за одним без пауз. До того ж слід пам'ятати, що остаточний результат повинен виходити на інтервалі, в який входить ціле число періодів сигналу (сума інтервалів частин дорівнює цілому числу періодів сигналу).

УНС-4ІА використовує алгоритм визначення СКЗ по частинах, причому остання частина розраховується по інтервалу, тривалість якого не дорівнює тривалості інших інтервалів. Коригування результату також не виконується, тому присутня додаткова похибка. Алгоритм розрахунку СКЗ використовуваний в УНС-4ІА слід виправити виконавши коригування результату або зробивши довжини інтервалів однаковими. Виполнім дослідження УНС-4ІА з метою поліпшення характеристик без внесення змін в апаратну частину.

Для визначення можливості підвищення швидкодії пристрою досліджуємо його роботу при різних інтервалах виміру. Дослідження впливу інтервалу вимірювання УНС-4ІА для сигналів ТРЛ виконано на несучої частоті 420 Гц (в цьому випадку в інтервал вимірювання входить найменше число періодів сигналу) при частотах модуляції 8 і 12 Гц, що подаються з калібратора Н4-11. Вимірювання виконувалися для трьох інтервалів:

Результат роботи виправленого алгоритму виявився точніше на 2,3% на інтервалі вимірювання 0,75 с. Видно зниження розкиду показань при збільшенні інтервалу вимірювань і підвищенні розкиду при збільшенні несучої частоти (зниженні частоти дискретизації).

Завдяки підвищенню швидкодії вимірювального модуля і застосування методу комутованих вимірювань [90, 91] зменшується кількість необхідних вимірювальних каналів, що дозволяє знизити вартість будівництва і періодичної перевірки систем технічної діагностики і моніторингу.

Виконане дослідження показує, що шляхом незначних змін в



програмному забезпеченні УНС-4ІА вдалося в 6 разів підвищити швидкодію пристрою при величині похибки менше 2,5%, що дозволило, спільно з застосуванням методу комутованих вимірювань, зменшити потребу кількості вимірювальних каналів для сигналів ТРЛ в 3 рази.

Аналогічні дослідження для існуючих вимірювальних пристроїв сигналів ТРЛ дозволять не тільки підвищити їх швидкодію і точність, а й гарантувати порівнянність всіх вимірювань в тональних рейкових ланцюгах. Це, безсумнівно, призведе до підвищення якості технічної експлуатації апаратури ТРЛ.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

В дипломній роботі магістра була вирішена науково-технічна задача, виконано аналіз технічних рішень ТРЛ, напрямків їх розвитку, технології обслуговування, методів вимірювання сигналів і діагностики їх стану, в результаті якого встановлено, що:

- темпи впровадження систем технічної діагностики і моніторингу обмежені високою вартістю;
- показання існуючих спеціалізованих засобів вимірювання сигналів ТРЛ розрізняються на 10-40% в залежності від точки підключення при цьому, по встановленим вимогам, похибка вимірювань не повинна перевищувати 5%;
- частота маніпуляції сигналів ТРЛ становить 8 або 12 Гц, що обмежує швидкість виконання вимірювань;
- на практиці модель сигналів ТРЛ маніпулює синусоїда, форма якої значно відрізняється від реальних сигналів. У використовуваної моделі відсутній математичний опис.

1. В роботі запропоновано математичну модель сигналів ТРЛ, в основу якої покладено вираз для опису однотонального амплітудно-модульованого сигналу з коефіцієнтом модуляції більше одиниці. З її допомогою встановлена залежність похибки вимірювання від форми сигналу ТРЛ. За результатами розробленої моделі складена програма розрахунку параметрів сигналу ТРЛ.

2. Удосконалено метод розрахунку інтервалу вимірювання сигналів ТРЛ по заданій величині похибки, що враховує реальну форму сигналів ТРЛ. Метод розрахунку інтервалу вимірювання дозволяє створювати кошти для механізації ферм спеціалізованих приладів для вимірювань сигналів ТРЛ і забезпечувати підвищення точності і швидкодії вимірювань, гарантує сумісність показань існуючих засобів вимірювання сигналів.

3. Встановлено, що мінімальним значенням інтервалу вимірювання, при якому форма сигналу ТРЛ не впливає на показання приладу, є 0,25 с, встановлено, що при інтервалі вимірювання кратному 0,25 с форма сигналів

ТРЛ не впливає на результат вимірювань.

4. Запропонований метод дослідження вимірювальних засобів, що характеризується можливістю визначення інтервалу вимірювання приладу, дозволяє оцінити придатність існуючих приладів для вимірювань сигналів ТРЛ. Складено рекомендації щодо поліпшення характеристик приладів для вимірювань сигналів ТРЛ.

5. Встановлено, що застосування частотно-маніпульованих сигналів дозволить відмовитися від спеціалізованих приладів і використовувати прилади для вимірювання СКЗ сигналів синусоїдальної форми. Наприклад, прилад Fluke 867В, який абсолютно не підходить для вимірювання сигналів ТРЛ з амплітудною маніпуляцією, може вимірювати ЧМН сигнали з похибкою не більше похибки вимірювань сигналу 50 Гц.

6. Завдяки застосуванню розроблених алгоритмів розрахунку інтервалу вимірювання в 6 разів підвищено швидкодію при збереженні величини похибки 2,5% для модуля вимірювань сигналів ТРЛ системи технічної діагностики на базі мікро ЕОМ і програмованих контролерів (СТД-МПК).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аркатов ВС, Кравцов Ю.А., Степенській Б.М. Рейкові кола. Аналіз роботи і технічне обслуговування. - М.: Транспорт, 1990. - 295 с. ISBN 5-277-00957-4.
2. Мащенко П.Є. Підвищення працездатності пристроїв інтервального регулювання руху поїздів з урахуванням рівня електромагнітних завад, що створюються перспективним електрорухомим складом: Дис ... канд. техн. Наук. - М., 207 с.
3. Еоренбейн Є.В. Електромагнітна сумісність тягового складу з пристроями інтервального регулювання руху поїздів: Дис ... канд. техн. Наук. -М., 2011.-253 с.
4. Бочарников Ю.В. Електромагнітна сумісність системи тягового електропостачання і апаратури рейкових кіл при впливі через живлять і сигнальні ланцюга: Дис ... канд. техн. наук. - М., 2008. - 176 с.
5. Лещев А. І. Забезпечення електромагнітної сумісності електроподвіжного складу з асинхронним тяговим приводом в системі електричної тяги постійного струму: Дис ... канд. техн. наук. - М., 2003. - 165 с.
6. Наумов АА Електромагнітна сумісність тягових мереж електрифікованих залізниць з рейковими ланцюгами при пропуску поїздів підвищеної ваги і довжини: Дис ... канд. техн. наук. - М., 2003. - 197 с.
7. Скоков Р.Б. Зниження впливу тягової мережі постійного струму на автоблокування з тональними рейковими колами: Дис ... канд. техн. наук. - Омськ, 2004. - 178 с.
8. Ходкевич АФ Поліпшення умов електромагнітної сумісності тягової мережі змінного струму з рейковими ланцюгами автоблокування на ділянках безстикової колії: Дис ... канд. техн. наук. - Омськ, 2006. - 152 с.
9. Дмитрієв ВС, Мінін В.А. Нові системи автоблокування. - М.: Транспорт. 1981.-247 с.
10. Дмитрієв ВС, Мінін В.А. Удосконалення систем автоблокування. - М.: Транспорт. 1987 - 143 с. ISBN 966-8173-02-3.

11. Кулик П.Д., Івакін Н.С., Удовик АА Тональні рейкові кола в системах ЗАТ: побудова, регулювання, обслуговування, пошук та усунення несправностей, підвищення експлуатаційної надійності. - Київ: Видавничий дім «Мануфактура», 2004.-288 с. - Іл. 57.-ISBN 966-8173-02-3.
12. Воробей Н.Ю. Автоматизація синтезу моделей ТРЛ: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. - СПб., 2011. - 16 с.
13. Растегаев С.Н. Автоматизація синтезу та аналізу параметрів тональних рейкових кіл на перегонах: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. - СПб., 2011. - 16 с.
14. Аналіз стану безпеки руху поїздів і надійності роботи систем і пристроїв ЗАТ в господарстві автоматики і телемеханіки ВАТ «УЗ» у 2011 році. - М.: ЦШ ВАТ «УЗ», 2012.- 160 с.
15. Сапожников, Вл.В., Ликов, АА, Єфанов, Д.В., Поняття предотказного стану // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2011- №12 - С. 6-8. - ISSN 0005-2329.
16. Терентьев, В.Л. Особливості вимірювання напруги в тональних рейкових ланцюгах // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2008.- №4.- С. 19-21 - ISSN 0005-2329.
17. Вимірювально-обчислювальні засоби в системі автоматизації діагностування і контролю пристроїв СЦБ: підручник для вузів залізничного транспорту / Сепетий АА, Кольцов В.В., Прищепа ВС, Снітко Ю.В., Федорчук АЕ, Іванченко В.Н., Гоман Е.А.; Зріст. держ. Ун-т шляхів повідомлення- Ростов н / Д, 2009.-416 с.
18. Мартинчук П.П., Вимірювання в рейкових ланцюгах тональної частоти // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2004 - №12 - С. 16. - ISSN 0005-2329.
19. Молодцов А.Н., Вимірювання напруги і сили струму цифровим мультиметром В7-63 // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2003.- №9, - С.39-41. - ISSN 0005-2329.
20. Мілюкова, Л.П., Вимірювальне обладнання для РТУ // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2012. - №3. - С. 26-27. ISSN 0005-2329.

21. Гоман, Е.А., Вотолевській, А.Л., Шандін, Е.М., Маслов, К.В., Автоматизація технічного обслуговування пристроїв СЦБ // Автоматика, зв'язок, інформатика-2007. - №4, - С. 22-25. - ISSN 0005-2329.
22. Кравцов, Ю.А., Линьков, В.І., Мащенко, П.Є., Щербина, Є.Г., Щербина, А.Е. Коректний метод контролю розрахунку параметрів сигналів тональних рейкових кіл // Наука і техніка транспорту - 2009- №4 - С. 37-43. - ISSN 2074-9325.
23. Ликов, А.А, Богданов Н.А. Виявлення та запобігання несправностей в ТРЛ // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2010 - №10 - С. 17-20. - ISSN 0005-2329.
24. Растегаєв, С.Н., Облік відхилення параметрів елементів при розрахунку ТРЛ // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2010 - №5 - С. 36-37. - ISSN 0005-2329.
25. Дмитрієв ВС, Мінін В.А. Системи автоблокування з рейковими ланцюгами тональної частоти.-М.: Транспорт, 1992 - 182 с.
26. Воронін В.А., Коляда В.А., Цукерман Б.Г. Технічне обслуговування тональних рейкових кіл: Навчальний посібник М.: ГОУ «Навчально-методичний центр по утворенню на залізничному транспорті», 2007 - 93 с.
27. Федоров Н.Е. Сучасні системи автоблокування з тональними рейковими колами: Навчальний посібник. - Самара: СамГАПС, 2004. - 132 с. - ISBN 5 901267-63-Х.
28. Федоркин, Ю.А. Приймач тональних рейкових кіл з цифровою обробкою сигналів // Автоматика, зв'язок, інформатика - Рік випуску 2008 - №2 - С. 21-22. - ISSN 0005-2329.
29. Генератор тональних рейкових кіл з цифровою обробкою сигналів. ГПЗС Електронний ресурс: керівництво по експлуатації: ЕІУС.468361.001 РЕ. 2006 г. / ТОВ НІ Ш «Стальенерго»; Головний інженер Н.В. Горшков - Електрон, дан - Режим доступу:.
30. Генератор тональних рейкових кіл з цифровою обробкою сигналів. ГПЗС

Електронний ресурс: техніческіерешенія по включенню:

31. Приймач тональних рейкових кіл з цифровою обробкою сигналів. ППЗС (ППЗСМ), ПП4С Електронний ресурс: керівництво по експлуатації: ЕІУС.468361.002 РЕ. 2005 г. /ТОВ НЛП «Стальенерго»; Головний інженер Н.В. Горшков- Електрон, дан - Режим доступу:.
32. Гоман, Е.А., Наседкін, І.А., Федоркин, Ю.А. На шляху інтеграції мікропроцесорних систем ЗАТ // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2012 - №1-С. 2-4. -ISSN 0005-2329.
33. Щербина А.Є. Спосіб підвищення стійкості функціонування рейкових ланцюгів тональної частоти: Дис ... канд. техн. наук. - М., 2011. - 301 с.
34. Шевцов С.А., Кравцов Ю.А. Тональна рейкове коло з авторегулюванням ТРЛ-АР // Автоматика і телемеханіка на залізничному транспорті: збірник доповідей Четвертої Міжнародної науково-технічної конференції «Транс ЗАТ», - Ростов н / Д, 2008, - С. 159-161.
35. Блач К.Е. Пристрій контролю стану ділянки шляху підвищеної завадостійкості для системи управління рухом поїздів: Дис ... канд. техн. наук. - Самара, 2009. - 157 с.
36. Пристрої СПБ. Технологія обслуговування. Доповнення №5. Технологічна карта № 3.6.0.1, М.: 2009.
37. Вотолевскій, А.ІТ, Шандін, Е.М., Впровадження автоматизованої технології обслуговування пристроїв ЗАТ // Автоматика, зв'язок, інформатика.- 2009.- №2.- С. 8-11.-ISSN 0005-2329.
38. Володіна, О. Надійність пристроїв ЗАТ - гарантія безпеки руху поїздів // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2010. - №5. - С. 9-12. ISSN 0005- 2329.
39. Задорожний, В.В., Толокнов, АВ, Нові технології в обслуговуванні пристроїв // Автоматика, зв'язок, інформатика- 2012 - №6 - С. 12-14. - ISSN 0005-2329.
40. Вотолевскій, А.Л., АСУ і технології обслуговування пристроїв ЗАТ // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2011.- №10 - С. 36-38. - ISSN 0005-2329.
41. Задорожний, В.В., Інтеграція систем АСУ-Ш-2 і АРМ-ВТД // Автоматика,

зв'язок, інформатика - 2009 - №9 - С. 30-31. - ISSN 0005-2329.

5- Замишляєв, А.М., Прошин, Г.Б., Горелик, АА, Система КАСАНТ: другий етап впровадження // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2009 - №7 - С. 9-13. - ISSN2329.

42. Кузьмичов, В.Н., Аналіз і облік відмов став об'єктивніше // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2012 - №5 - С. 11-12. - ISSN 0005-2329.

43. Москвіна, Е.А., Розвиток центру діагностики і моніторингу // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2009 - №11- С. 2-6. - ISSN 0005-2329., Пахомова, Н., Розвивати технологію діагностики і моніторингу // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2011. - №3. - С. 3-4. ISSN 0005-2329.

44. Вотолевській, А.Л., Особливості проектування технології обслуговування // Автоматика, зв'язок, інформатика-2011-№1-С. 43-46. - ISSN 0005-2329.

45. Сергеев А.Г. Метрологія: Підручник - М.: Логос, 2005 - 272 с.

46. ДСТУ ISO 5725-1-2002. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювань. Частина 1. Основні положення і визначення. М.: Изд-во стандартів, 2002. 24 с.

Єрмолович А., Мікросхеми вимірювальних середньоквадратических перетворювачів напруги // Електронні компоненти й системи.- 2003 - №7 (71) .- С.

47. Попов ВС, Желбаков І.М. Вимірювання середньоквадратичного значення напруги. - М.: Вища школа, 1987. - 120 с.

48. Стюарт Б., Профт К. Вимірювання змінного струму методом прямої дискретизації // CHIP NEWS.- 2006, - №6 (109) .- С. 54-56 ISSN 0234-8209.

49. Бушуєв, СВ, Попов, АН Дослідження точності вимірювань середньоквадратичних значень електричних сигналів на обмежених інтервалах часу // Транспорт Уралу. - Єкатеринбург: УрГУПС, 2011. - №2 (29). - С. 46-50. ISSN 1815-9400.

50. Бушуєв, С.В., Попов, А.Н. Забезпечення збіжності і відтворюваності вимірів сигналів тональних рейкових кіл // Транспорт Уралу. - Єкатеринбург: УрГУПС, 2012. -№3 (34) .- С. 38-42. ISSN 1815-9400.



51. Федорчук, А.Е. Функціональне розвиток системи АДК-СЦБ // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2005. - №12. - С. 42-45. ISSN 0005-2329.
52. Інструкція з технічної експлуатації пристроїв і систем сигналізації, централізації і блокування (СЦБ). ЦШ-720-09. ВАТ «УЗ». 2009. 93 с.
53. Експлуатаційно-технічні вимоги до систем технічного діагностування та моніторингу (РД 1115842.07-2004). //Ж.-д. трансп. Сер. «Сигналізація та зв'язок». ЕІ / ЦНІІТЕІ. - 2005. - Вип.3-4. - С. 1-60.
54. Мультиметр В7-63. Технічний опис та інструкція з експлуатації. 5521, 1998.- 62 с., Мультиметр В7-63. Технічний опис та інструкція з експлуатації. 16865, 1998.-62 с.
55. Прилад комбінований для вимірювання сигналів рейкових кіл (ПК-РЦ). Керівництво по експлуатації: 4221-001-29279945-02 РЕ (РКУН 14.00.00.000 РЕ) / ЗАТ «НВФ« кома-Б ». 2002 - 30 с.
56. Котов, ВС, Белов, В.Ю. Вимірювальний прилад ПК-РЦ // Автоматика, зв'язок, інформатика.- 2003 - №9, - С. 18-20. - ISSN 0005-2329.
57. ПК-РЦ-М. Керівництво користувача / ЗАТ «НВФ« КОМАГ-Б ».- М .: 2011.- 30 с.
58. Воронін В.А., Котов ВС Сучасний вимірювальний прилад для електромеханіка // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2011, - №9, - С. 12-14. ISSN 0005- 2329.
59. Прилад комбінований для вимірювання сигналів рейкових кіл (ПК-РЦ). Методика калібрування: 4221-001-29279945-02 МК (РКУН 14.00.00.000 МК). / ЗАТ «НВФ« КОМАГ-Б ». 2005, - 21 с.
60. Прилад електровимірювальний багатифункціональний (ампервольтметр) 4306. Паспорт. 2.728.075 ПС / ВАТ «ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЧ» .- 24 с.
61. Прилад багатифункціональний переносний МПІ СЦБ. Керівництво по експлуатації: 17411-00-00 РЕ - 15 с.
62. Насонов, Г.Ф. Мета - підвищення надійності пристроїв ЗАТ // Автоматика, зв'язок, інформатика - 2012 - №6 - С. 2-4. - ISSN 0005-2329.

Денисенко В.В., Підвищення точності шляхом багаторазових вимірювань. частина. Сучасні технології автоматизації. 2009 - №4 - С. 96-99. - ISSN 0206-975X.

63. Денисенко В.В. Комп'ютерне управління технологічним процесом, експериментом, обладнанням. - М.: Горяча лінія-Телеком, 2009. -608 с.

64. Нікітін, А.Б., Бушуєв, С.В., Гундорова, К.В., Алексєєв, АВ, Еребель, С.В., Попов, А.Н. Засоби технічної діагностики та віддаленого моніторингу СТД-МПК // Автоматика, зв'язок, інформатика, - 2012 - №10 - С. 6-8. - ISSN 0005-2329.

65. Пат. RU 65457 U1, МПК В61L23 / 16, Пристрій контролю тональних рейкових кіл.

66. Пат. RU 60467 U1, МПК В61L23 / 16, Пристрій для контролю і діагностування тональних рейкових кіл.

67. Нові інформаційні технології: автоматизація технічного діагностування та моніторингу пристроїв ЗАТ (система АДК-СЦБ): підручник для вузів залізничного транспорту / Федорчук А.Е., Сепетий АА, Іванченко В.Н. ; Зріст. держ. ун-т шляхів сполучення. - Ростов н / Д, 2010 - 405 с. : іл. Бібліогр. : 9 назв.

68. Сепетий АА Розширення функцій системи АДК-СЦБ. / АА Сепетий // Автоматика, зв'язок, інформатика. - 2009. - №1. - С. 25-26. - ISSN 0005-2329.

77. Аверкиєв С.А., Вимірювальні канали АСДК // Автоматика, зв'язок, інформатика, - 2011, - №5, - С.32-33. - ISSN 0005-2329.

75. Дитина Г.В., Діагностична апаратура АСДК // Автоматика, зв'язок, інформатика, - 2011, - №5, - С.32-33. - ISSN 0005-2329.

76. Вигодський М.Я. Довідник з вищої математики / М.Я. Вигодський. - М.: ТОВ «Видавництво АСТ», 2004. - 991 с. ISBN 5-17-012238-1.

Дьяконов В.П. Matlab 7. \* / R2006 / R2007: Самовчитель. - М.: ДМК Пресс, 2008. 768 с. ISBN 978-5-94074-424-5.

77. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н.Бутусов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 320 с.

78. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 7: програмування, чисельні методи. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 752 с.
79. Matlab і Simulink для радіоінженерів: В. П. Дьяконов - СПб.: ДМК Пресс, 2011 р - 976 с. ISBN 978-5-94074-492-4.
80. ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. М.: Изд-во стандартів, 1997. 33 с.
81. Основи метрології та електричні вимірювання: Підручник для вузів / Б.Я. Авдєєв, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин і ін.; Під ред. Е.М. Душина. - 6-е изд., Перераб. і доп. - Л.: Вища школа. Ленингр. отд-ня, 1987. - 480 с.
82. Електричні вимірювання: Підручник для вузів / Байда Л.І., Добротвірської Н.С., Душин Е.М. та ін.; Під ред. АВ Фремке і Е.М. Душина. - 5-е изд., Перераб. і доп. - Л.: Енергія. Ленингр. отд-ня, 1980. - 392 с.
83. Бессонов Л.А. Теоретичні основи електротехніки: Підручник для студентів електротехнічних, енергетичних і приладобудівних спеціальностей вузів. - 7-е изд., Перераб. і доп. - М.: Вища. школа, 1978 - 582с.
84. Панфілов В.А. Електричні вимірювання: підручник для студ. проф. освіти В.А.. Панфілов. - 3-е изд., Испр. - М.: Видавничий центр «Академія», 2006. 288 с. - ISBN 5-7695-3536-9
85. Баскаков С. І. Радіотехнічні ланцюги і сигнали: Учеб. для вузів по спец. «Радіотехніка». - М.: Вища. шк., 2000. - 462 с. ISBN 5-06-003843-2.
86. Сергієнко А.Б., Цифрова обробка сигналів / А.Б. Сергієнко. - СПб.: Пітер, 2002. - 608 с. ISBN 5-318-00666-3.
87. Сергієнко А.Б., Цифрова обробка сигналів / А.Б. Сергієнко. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. - 758 с. ISBN 978-5-9775-0606-9.
88. Гусак АА та ін. Довідник з вищої математики / АА Гусак, Г.М. Гусак, Е.А. Брічікова. - Мінськ: ТетраСистемс. 1999. - 640 с. ISBN 985-6317-51 -7.
89. Бушуєв С.В., Гундорова К.В. Розподілена телеметрическая підсистема діагностики комп'ютерної електричної централізації // Інформаційні технології

і безпека технологічних процесів. - Єкатеринбург: УрГУПС, 2004. С. 3-8.

90. Гавзе Д.В., Бушуєв С.В., Гундорова К.В. Комплекс технічних засобів розподілених вимірювань, контролю та управління // Проблеми розробки, впровадження та експлуатації мікроелектронних систем залізничної автоматики і телемеханіки: Збірник наукових праць. - Санкт-Петербург: ПГУПС, 2005.

С.103-108.

91. Jim Harper. TI.21 Audio Frequency Track Circuits. Railtrack PLC. 1996.

92. John Rose .: "Recent developments in audio-frequency track circuit techniques", IRSE NEWS, July / August 2009. 2-7.